

4 4 3

Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband

26. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und -bekämpfung

11.-13. März 2014, Braunschweig

Proceedings

26th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

March 11-13, 2014, Braunschweig, Germany



Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)

Das Julius Kühn-Institut ist eine Bundesoberbehörde und ein Bundesforschungsinstitut. Es umfasst 15 Institute zuzüglich gemeinschaftlicher Einrichtungen an zukünftig sechs Standorten (Quedlinburg, Braunschweig, Kleinmachnow, Dossenheim, Siebeldingen, Dresden-Pillnitz) und eine Versuchsstation zur Kartoffelforschung in Groß Lüsewitz. Quedlinburg ist der Hauptsitz des Bundesforschungsinstituts.

Hauptaufgabe des JKI ist die Beratung der Bundesregierung bzw. des BMELV in allen Fragen mit Bezug zur Kulturpflanze. Die vielfältigen Aufgaben sind in wichtigen rechtlichen Regelwerken, wie dem Pflanzenschutzgesetz, dem Gentechnikgesetz, dem Chemikaliengesetz und hierzu erlassenen Rechtsverordnungen, niedergelegt und leiten sich im Übrigen aus dem Forschungsplan des BMELV ab. Die Zuständigkeit umfasst behördliche Aufgaben und die Forschung in den Bereichen Pflanzengenetik, Pflanzenbau, Pflanzenernährung und Bodenkunde sowie Pflanzenschutz und Pflanzengesundheit. Damit vernetzt das JKI alle wichtigen Ressortthemen um die Kulturpflanze – ob auf dem Feld, im Gewächshaus oder im urbanen Bereich – und entwickelt ganzheitliche Konzepte für den gesamten Pflanzenbau, für die Pflanzenproduktion bis hin zur Pflanzenpflege und -verwendung. Forschung und hoheitliche Aufgaben sind dabei eng miteinander verbunden.

Weiterführende Informationen über uns finden Sie auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts unter <http://www.jki.bund.de>. Spezielle Anfragen wird Ihnen unsere Pressestelle (pressestelle@jki.bund.de) gern beantworten.

Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for cultivated plants (JKI)

The Julius Kühn-Institut is both a research institution and a higher federal authority. It is structured into 15 institutes and several research service units on the sites of Quedlinburg, Braunschweig, Kleinmachnow, Siebeldingen, Dossenheim und Dresden-Pillnitz, complemented by an experimental station for potato research at Groß Lüsewitz. The head quarters are located in Quedlinburg. The Institute's core activity is to advise the federal government and the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection in particular on all issues relating to cultivated plants. Its diverse tasks in this field are stipulated in important legal acts such as the Plant Protection Act, the Genetic Engineering Act and the Chemicals Act and in corresponding legal regulations, furthermore they arise from the new BMELV research plan.

The Institute's competence comprises both the functions of a federal authority and the research in the fields of plant genetics, agronomy, plant nutrition and soil science as well as plant protection and plant health. On this basis, the JKI networks all important departmental tasks relating to cultivated plants – whether grown in fields and forests, in the glasshouse or in an urban environment – and develops integrated concepts for plant cultivation as a whole, ranging from plant production to plant care and plant usage. Research and sovereign functions are closely intertwined.

More information is available on the website of the Julius Kühn-Institut under

<http://www.jki.bund.de>. For more specific enquiries, please contact our public relations office (pressestelle@jki.bund.de).

**Gemeinschaft der Förderer und Freunde
des Julius Kühn-Instituts, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen e.V. (GFF)**

Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg,

Tel.: 03946 47-200, E-Mail: GFF@jki.bund.de

Internet: <http://www.jki.bund.de/> Bereich "Über das JKI"

4 4 3

Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband

26. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und -bekämpfung

11.-13. März 2014, Braunschweig

Proceedings

26th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

March 11-13, 2014, Braunschweig, Germany



Herausgeber:

Henning Nordmeyer und Lena Ulber
Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland
Messeweg 11-12
38104 Braunschweig

Programmkomitee:

Herwart Böhm (Thünen-Institut)
Hans G. Drobny (DuPont de Nemours GmbH)
Klaus Gehring (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)
Bärbel Gerowitt (Universität Rostock)
Henning Nordmeyer (Julius Kühn-Institut)
Jan Petersen (Fachhochschule Bingen)
Otto Richter (Technische Universität Braunschweig)
Martin Schulte (Syngenta Agro GmbH)
Lena Ulber (Julius Kühn-Institut)
Peter Zwerger (Julius Kühn-Institut)

Veranstalter:

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)
Technische Universität Braunschweig
Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft

Foto Titel:

Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*)
Arno Littmann, Julius Kühn-Institut

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
In der Deutschen Nationalbibliografie: detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISSN 1868-9892

ISBN 978-3-95547-002-9

DOI 10.5073/jka.2014.443.000

© Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Quedlinburg, 2014. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben bei auch nur auszugsweiser Verwertung vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Printed in Germany by Arno Brynda GmbH, Berlin.

Vorwort

Zur 26. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung im Jahr 2014 in Braunschweig wurde wiederum eine hohe Zahl an wissenschaftlichen Beiträgen zu allen Fragen der Herbologie angemeldet. Damit wird die vom Julius Kühn-Institut (JKI), dem Institut für Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig und dem Arbeitskreis Herbologie der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft (DPG) getragene Unkrauttagung 2014 wieder ihrer Rolle als Herbologie-Plattform gerecht. Die Unkrauttagungen dienen und dienen der Vorstellung und Diskussion neuer Forschungsergebnisse sowie dem Austausch von aktuellen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Herbologie und sind damit ein fester Bestandteil im Veranstaltungskalender für die an der Herbologie interessierten Kolleginnen und Kollegen der Hochschulen, Industrie, Beratung und öffentlichen Verwaltung.

Daher haben die Veranstalter auch 2014 an dem Ziel festgehalten, die Manuskripte der Vorträge und Poster in einem Tagungsband zusammenzustellen und zu veröffentlichen. Somit gibt der Tagungsband den aktuellen Erkenntnisstand im Bereich der Herbologie wieder. Aktuelles Schwerpunktthema ist wiederum die Herbizidresistenz sowie die sich daraus entwickelnde Frage nach einem effektiven Unkrautmanagement durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Verfahren.

Das Programmkomitee hat maßgeblich an der Gestaltung des wissenschaftlichen Programms sowie der Auswahl der Beiträge mitgewirkt. Die Zuordnung und Strukturierung der vielfältigen Beiträge ist immer eine Herausforderung. An dieser Stelle möchten wir den Mitgliedern des Programmkomitees für ihre Unterstützung ganz herzlich danken.

Die Manuskripte aller angenommenen Vorträge und Poster wurden nach einer Begutachtung redigiert, in einem Tagungsband zusammengefasst und veröffentlicht. Auch allen Gutachtern möchten wir für Ihre Arbeit danken.

Braunschweig, im März 2014

Henning Nordmeyer, Lena Ulber und Peter Zwerger

Wir danken herzlich für die wissenschaftliche Begutachtung der Tagungsbeiträge durch:

We like to thank all reviewers for their effort:

Albrecht, Harald, Technische Universität München, Deutschland
Becker, Jörg, Dow AgroSciences GmbH, Deutschland
Belz, Regina, Universität Hohenheim, Deutschland
Bletscher, Carina, Syngenta Agro GmbH, Deutschland
Böhm, Herwart, Thünen-Institut, Trenthorst, Deutschland
Bohren, Christian, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Nyon, Schweiz
Buhre, Cord, Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen, Deutschland
Bünthe, Rolf, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Aurich, Deutschland
Christen, Olaf, Universität Halle, Deutschland
Dammer, Karl-Heinz, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Deutschland
de Mol, Friederike, Universität Rostock, Deutschland
Dicke, Dominik, Regierungspräsidium Gießen, Deutschland
Dietz-Pfeilstetter, Antje, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Drobny, Hans Günther, Du Pont de Nemours (Deutschland) GmbH, Deutschland
Eggers, Thomas, ehemals BBA, Deutschland
Engelke, Thomas, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Franzaring, Jürgen, Universität Hohenheim, Deutschland
Gehring, Klaus, LfL Bayern, Institut für Pflanzenschutz, Freising, Deutschland
Gerhards, Roland, Universität Hohenheim, Deutschland
Gerowitz, Bärbel, Universität Rostock, Deutschland
Glemnitz, Michael, Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg, Deutschland
Götz, Reinhard, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, Deutschland
Graeff-Hönniger, Simone, Universität Hohenheim, Deutschland
Gruber, Sabine, Universität Hohenheim, Deutschland
Haas, Hans Ulrich, Syngenta Crop Protection AG, Deutschland
Hanzlik, Kristin, BASF SE, Limburgerhof, Deutschland
Hermann, Wilfried, Universität Hohenheim, Deutschland
Hofmann, Bodo, Universität Halle-Wittenberg, Deutschland
Keller, Martina, Forschungsanstalt Agroscope, Wädenswil, Schweiz
Kuhlmann, Josef, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Cloppenburg, Deutschland
Ladewig, Erwin, Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen, Deutschland
Landschreiber, Manja, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Lübeck, Deutschland
Meinlschmidt, Ewa, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
Menegat, Alexander, Universität Hohenheim, Deutschland
Menne, Hubert, Bayer CropScience AG, Frankfurt, Deutschland
Michel, Albrecht, Syngenta Crop Protection AG, Basel, Switzerland
Nordmeyer, Henning, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Petersen, Jan, Fachhochschule Bingen, Deutschland
Pflanz, Michael, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Raffel, Hans, Syngenta Agro GmbH, Maintal, Deutschland
Rauber, Rolf, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland
Sauerborn, Joachim, Universität Hohenheim, Deutschland
Schönhammer, Alfons, BASF SE, Limburgerhof, Deutschland
Schulte, Martin, Syngenta Agro GmbH, Maintal, Deutschland
Schwarz, Jürgen, Julius Kühn-Institut, Kleinmachnow, Deutschland
Söchting, Hans-Peter, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Sölter, Ulrike, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Steinmann, Horst-Henning, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland
Verschwele, Arnd, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Werner, Bernhard, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover, Deutschland
Westerman, Paula, Universität Rostock, Deutschland
Wirth, Judith, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Schweiz
Wolber, Dirk, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover, Deutschland
Zwinger, Peter, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland

Inhaltsverzeichnis - Table of Contents

Einleitende Referate

Keynote presentation

Neue molekularbiologische und bioinformatische Methoden in der Unkrautforschung	17
<i>New molecular biology and bioinformatics methods in weed research</i> Antje Krause	
Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Managementverfahren	24
<i>Weed control through crop rotation and alternative management practices</i> Herwart Böhm	
Reduced herbicide rates: present and future	37
<i>Reduzierter Herbizidaufwand: heute und zukünftig</i> Per Kudsk	

Sektion 1: Herbizidresistenz – Methoden

Section 1: Herbicide resistance - methods

Framework for an expert evaluation for the evolution of weed resistance	45
<i>Rahmen für eine Experten-Bewertung für die Entwicklung der Unkrautresistenz</i> William Vencill, Robert Nichols, Theodore Webster and Stephen Moss	
Degradation and metabolism of fenoxaprop-P-ethyl in sensitive and resistant populations of <i>Alopecurus myosuroides</i>	52
<i>Abbau und Metabolismus von Fenoxaprop-P-ethyl in sensitiven und resistenten Populationen von <i>Alopecurus myosuroides</i></i> Yasmin I. Kaiser and Roland Gerhards	
Validation of the chlorophyll fluorescence imaging method (CFI) for early detection of herbicide resistance in weeds	60
<i>Validierung der Chlorophyll Fluoreszenz Imaging-Methode (CFI) zur Früherkennung von Herbizidresistenz in Unkräutern</i> Alexander Menegat and Roland Gerhards	
On the discovery of genes involved in metabolism-based resistance to herbicides using RNA-Seq transcriptome analysis in <i>Lolium rigidum</i>	66
<i>Zur Entdeckung der beteiligten Gene an der metabolischen Herbizidresistenz in <i>Lolium rigidum</i> durch RNA-Seq Transkriptom Analyse.</i> Todd A. Gaines, Lothar Lorentz, Andrea Figge, Frank Maiwald, Mark-Christoph Ott, Heping Han, Roberto Busi, Qin Yu, Stephen B. Powles and Roland Beffa	

- Molekulare Analyse der metabolischen Resistenz in Acker-Fuchsschwanz** 73
Molecular analysis of metabolic resistance in blackgrass
Michael U. Höfer, Friedrich Felsenstein, Maria Rosenhauer und Jan Petersen
- Is hormesis an underestimated factor in the development of herbicide resistance?** 81
Ist Hormesis ein unterschätzter Faktor bei der Entwicklung von Herbizidresistenz?
Regina G. Belz
- Efficacy study and resistance detection for pre-emergence herbicides under greenhouse conditions; a method comparison for pendimethalin** 92
Wirksamkeitsprüfung und Resistenzdetektion für bodenaktive Herbizide; Ein Methodenvergleich am Beispiel Pendimethalin
Alexander Menegat, Bernd Sievernich and Roland Gerhards
- Impact of non-target-site-resistance on herbicidal activity of imazamox on black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in comparison to other ALS-graminicides** 98
*Einfluss der Nicht-Wirkortresistenz auf die herbizide Wirkung von Imazamox auf Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) im Vergleich zu anderen ALS-Graminiziden*
Bernd Sievernich and Alexander Menegat
- Resistenzausprägung von hetero- und homozygot resistenten Genotypen eines Acker-Fuchsschwanz-Biotypen mit Target-Site Resistenz (Haplotyp Leu1781) in Dosis-Wirkungsversuchen mit Clethodim und Cycloxydim** 106
Degree of resistance of hetero- and homozygous resistant genotypes of a target-site resistant blackgrass biotype (haplotype Leu 1781) in dose-response experiments with clethodim and cycloxydim
Jean Wagner und Regina G. Belz

Sektion 2: Klimawandel, Populationsdynamik und Biodiversität *Section 2: Climate change, population dynamics and biodiversity*

- Use of the crop maize to reduce yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) pressure in highly infested fields in Switzerland** 114
*Mais als mögliche Sanierungskultur für stark mit Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.) verseuchte Flächen in der Schweiz*
Martina Keller, Jürgen Krauss, Reto Neuweiler and René Total
- Klimafolgenforschung zu Ackerunkräutern – Daten, Methoden und Anwendungen auf verschiedenen Skalen** 123
Climate change impact research on arable weeds – data, methods and applications at various scale levels
Laura Breitsameter, Jana Bürger, Barbara Edler, Kristian Peters, Bärbel Gerowitt und Horst-Henning Steinmann

- Die biologische Wirksamkeit von Maleinsäurehydrazid auf Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.)** 133
*Biological effect of maleic acid hydrazide on Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus* L.)*
Christian Bohren, Roger Azevedo und Judith Wirth
- Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Entwicklung der Verunkrautung in einem Dauerfeldversuch** 141
Influence of tillage system on the weed infestation in a long-term field trial
Jürgen Schwarz und Bernhard Pallutt
- Zum Einfluss der Fruchtfolge auf die Abundanzen künstlich etablierter Unkrautarten in zwei Feldversuchen** 149
On the effect of crop rotation on artificially established weed species in two field experiments
Christoph Flucke, Friederike de Mol und Bärbel Gerowitt
- Seed ecology of *Bromus sterilis* L.** 156
*Samenökologie von *Bromus sterilis* L.*
Veronika Žďárková, Kateřina Hamouzová, Josef Holec, Jaromír Janků and Josef Soukup
- Welche Faktoren fördern das Auftreten von *Chenopodium album* auf norddeutschen Maisflächen?** 165
*Which factors support the occurrence of *Chenopodium album* in maize fields in Northern Germany?*
Christoph v. Redwitz und Bärbel Gerowitt
- Dynamik der Verunkrautung mit *Senecio vulgaris* nach einem einmaligen Sameneintrag** 172
*Dynamics of the weed infestation with *Senecio vulgaris* after a single entry from seeds*
Hans-Peter Söchting und Peter Zwerger
- New approaches to the conservation of rare arable plants in Germany** 180
Neue Ansätze zum Artenschutz gefährdeter Ackerwildpflanzen in Deutschland
Harald Albrecht, Julia Prestele, Sara Altenfelder, Klaus Wiesinger and Johannes Kollmann
- Einfluss des Klimawandels auf die Keimung von Ackerwildkräutern** 190
To be or not to be - common and endangered arable weed species in the face of Global Climate Change
Anna Theresa Rühl, Tobias W. Donath, R. Lutz Eckstein und Annette Otte
- Genotypic diversity and clonal structure of *Erigeron annuus* (Asteraceae) in Lithuania** 200
*Genetische Vielfalt und Klonstruktur von *Erigeron annuus* (Asteraceae) in Litauen*
Virginija Tunaitienė, Jolanta Patamsytė, Tatjana Čėsniėnė, Violeta Kleizaitė, Donatas Naugžemys, Vytautas Rančelis and Donatas Žvingila

- Cyperus esculentus - differences in growth and tuber production between cultivated and wild forms** 208
Cyperus esculentus - Unterschiede in Wachstum und Knollenbildung zwischen Kultur- und Wildformen
Josef Holec, Petra Bulejčiková, Pavel Hamouz and Josef Soukup
- Phenological characteristics of the invasive weed Cucumis melo** 214
Phänologische Eigenschaften der invasiven Unkrautart Cucumis melo
Sima Sohrabi, Ali Ghanbari, Mohammad Hassan Rashed Mohassel and Javid Gherekhloo
- Zur Ökophysiologie des Auftretens von Cirsium arvense** 218
Ecophysiological aspects of Cirsium arvense
Hartmut Heilmann
- Rezente Veränderungen von Unkrautflora und -management als Basis für zukünftige Managementanpassungen** 225
Recent changes of arable weeds flora and management as a basis for future adaptations
Laura Breitsameter und Horst-Henning Steinmann
- Regrowth of Cirsium arvense from intact roots and root fragments at different soil depths** 234
Aufwuchs von Cirsium arvense aus intakten Wurzeln und Rhizom-Fragmenten aus verschiedener Bodentiefe
Mette Goul Thomsen, Lars Olav Brandsæter and Haldor Fykse
- Role of Oxalis corniculata L. as plant virus reservoir with special regard to Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV-RB) strain occurrence in rock-wool cultivation in Hungary** 239
Horn-Sauerklee (Oxalis corniculata L.) als Reservoir des Resistenz-überwindenden Stammes der Tomatenbronzefleckenkrankheit (TSWV-RB) in Steinwolle-basierendem Gemüsebau in Ungarn
Anna Maria Hodi, Gabor Bese, Laszlo Hodi and Laszlo Palkovics
- Changes of weed ecological groups under different organic mulches** 244
Änderungen innerhalb ökologischer Gruppen von Unkräutern unter verschiedenem organischen Mulch
Darija Jodaugienė, Aušra Marcinkevičienė, Rita Pupalienė, Aušra Sinkevičienė and Kristina Bajorienė

Sektion 3: Herbizidresistenz - Management

Section 3: Herbicide resistance - Management

- Impact of imazamox containing herbicides on the development of resistance in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.)** 252
*Einfluss von Imazamox-haltigen-Herbiziden auf die Resistenzentwicklung bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in einer Raps-Getreidefruchtfolge*
Maria Rosenhauer, Bernd Sievernich and Jan Petersen
- Senkung des Selektionsdrucks von Herbiziden – Möglichkeiten und Grenzen eines Managements von Acker - Fuchsschwanz mit Clethodim in Raps bei Vorkommen des Haplotyps Leu1781** 261
Reduction of selection pressure of herbicides - options and limits for blackgrass management by using clethodim in oilseed rape in the presence of the Leu1781 haplotype
Jean Wagner, Jens Heisrath, Jan Juister, Tjard Ommen und Albert Günnigmann
- The use of hormone herbicides for resistance management and control of difficult weeds in cereal crops in the UK (with special reference to Scotland)** 268
Resistenzmanagement und Bekämpfung von Unkräutern in Getreide in Großbritannien durch Anwendung von Phenoxyherbiziden (unter besonderer Berücksichtigung von Schottland)
Andrew Mark Ballingall
- Spatial and temporal development of ACCase and ALS resistant Black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations in neighboring fields in Germany** 273
Räumliche und Zeitliche Ausbreitung ACCase und ALS resistenter Ackerfuchsschwanzpopulationen in benachbarten Feldern Deutschlands
Johannes Herrmann, Martin Hess, Thomas Schubel, Harry Strek, Otto Richter and Roland Beffa
- Resistenzentwicklungen von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) in Niedersachsen 2013 – zunehmend auch gegen Pinoxaden** 280
*Development of resistance of *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Loose silky-bent) in Lower Saxony in 2013 - also increasingly against Pinoxaden*
Dirk Michael Wolber
- Vererbung der Herbizidresistenz gegen ALS-Inhibitoren bei *Tripleurospermum perforatum*** 287
*Inheritance of ALS herbicide resistance in *Tripleurospermum perforatum**
Lena Ulber

- Results from two years of *Matricaria inodora* L. and *Matricaria chamomilla* L. monitoring (2012 + 2013) – greenhouse efficacy trials with Tribenuron and Florasulam and ALS target site resistance test at Pro 197 and Thr 574** 293
Ergebnisse aus zwei Jahren (2012 + 2013) eines Matricaria inodora- und Matricaria chamomilla-Monitoring – Biotest mit Tribenuron und Florasulam und ALS-Target-Site-Analyse an den Stellen Pro 197 und Thr 574
Anke Tiede, Marcin Dzikowski, Jörg Becker and Arndt Wittrock
- Interaktionen von Vor- und Nachauflaufapplikationen auf die Kontrolle von metabolisch resistenten Ackerfuchsschwanzherkünften** 297
Interaction of pre- and post-emergence herbicide treatment on efficacy of different black-grass biotypes with enhanced metabolism
Jan Petersen und Florian Olf
- Erstnachweis einer Wirkortresistenz von Tauber Trespe (*Bromus sterilis*) gegenüber ACCase-Hemmern** 304
*First record of target-site-resistance of poverty brome (*Bromus sterilis*) to ACCase inhibitors*
Dominik Dicke, Jean Wagner, Eberhard Cramer und Manfred Kirchner
- Herbizideinsatz gegen schwer bekämpfbaren, herbizidresistenten Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.)** 311
*Herbicide treatments for the control of resistant black grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in winter wheat (*Triticum aestivum* L.)*
Klaus Gehring und Stefan Thyssen
- Herbizidresistenz von Flughäferherkünften aus Rheinland-Pfalz** 320
*Herbicide resistance of Wild Oat (*Avena fatua*) populations from Rhineland-Palatinate*
Bernd Augustin und Hubert J. Menne
- Untersuchungen zum Auflaufverhalten von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Abhängigkeit des Aussattermins und der Winterweizensorte in Norddeutschland** 324
*Field studies on the germination behaviour of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) depending on sowing date and winter wheat variety in Northern Germany*
Manja Landschreiber

Sektion 4: Modellierung

Section 4: Modelling

- Model for metabolic resistance against ALS inhibitors** 334
Ein Modell für die metabolische Resistenz gegen ALS Inhibitoren
Otto Richter, Dirk Langemann and Roland Beffa

Modeling the development of a target site resistant <i>Apera spica-venti</i> (L.) P. Beauv. population – A comparison of model output and field data	343
<i>Modellierung der Entwicklung einer Target-site resistenten Apera spica-venti Population – Ein Vergleich von Modelergebnissen und Felddaten</i>	
Janin Rummund, Dirk Kerlen, Henning Nordmeyer, Roland Beffa and Otto Richter	
Simulation model for longterm management of <i>Avena fatua</i> L. in winter wheat	350
<i>Simulationsmodell zur langfristigen Kontrolle von Avena fatua L. in Winterweizen</i>	
Ortrud Jäck, Alexander Menegat, Jinwei Zhang, Hanwen Ni and Roland Gerhards	
DSSHerbicide: Feldversuche zur Unkrautbekämpfung im Winterweizen – was bringt der Einsatz eines Entscheidungshilfesystems?	360
<i>DSSHerbicide: Herbicide field trials in winter wheat. What is the good of this?</i>	
Friederike de Mol, Robert Fritzsche und Bärbel Gerowitt	
Modellierung von ökonomischen Schadschwellen für <i>Rumex obtusifolius</i> L. im Wirtschaftsgrünland	369
<i>Modelling of economic thresholds for Rumex obtusifolius L. in intensively used grassland and pasture</i>	
Thomas Schulz	
Prognose künftiger Problemunkräuter im Maisanbau durch Artverbreitungsmodellierung	379
<i>Predicting weed problems in maize cropping by species distribution modelling</i>	
Jana Bürger, Barbara Edler, Bärbel Gerowitt und Horst-Henning Steinmann	
Management zur Verminderung und Vermeidung von diffusen Herbizidausträgen durch Abschwemmung und Erosion in Oberflächengewässer	387
<i>Best management practices to reduce and prevent water pollution with herbicides from run-off and erosion</i>	
Klaus Gehring	
Unkrautererkennung mit Hilfe unbemannter Luftfahrzeuge	396
<i>Weed detection using unmanned aircraft vehicles</i>	
Michael Pflanz, Dominik Feistkorn und Henning Nordmeyer	
Teilflächenspezifisches Herbizidsplitting in Feldmöhren entsprechend sensorbasierter Erfassung der Verunkrautung	404
<i>Site-specific herbicide splitting in field carrots based on camera detected weed infestation</i>	
Karl-Heinz Dammer, Gerhard Wartenberg und Frank Weinhold	
DSSHerbicide: Feldversuche zur Unkrautbekämpfung im Winterweizen – Wege zur Entscheidung	412
<i>DSSHerbicide: Herbicide field trials in winter wheat. How to come to a decision</i>	
David Sefzat, Friederike de Mol und Bärbel Gerowitt	

Sektion 5: Unkrautmanagement ohne Herbizide

Section 5: Weed management without herbicides

- Do cover crop mixtures have the same ability to suppress weeds as competitive monoculture cover crops?** 422
Haben Zwischenfruchtmischungen dieselbe Fähigkeit zur Unkrautunterdrückung wie eine konkurrenzkräftige Reinsaat?
Jochen Brust, Jonas Weber and Roland Gerhards
- Untersuchungen zur Unkrautunterdrückung in Rein- und Mischfruchtbeständen von Wintererbsen unterschiedlichen Wuchstyps** 431
Investigations on the weed suppression in sole and intercropped stands of winter peas of contrasting growth habit
Annkathrin Gronle und Herwart Böhm
- Effekte von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung auf die Segetalflora im Ökologischen Landbau** 441
Effects of crop rotation and soil tillage on weeds in organic farming
Franz Schulz und Günter Leithold
- Effect of weed patch size on seed removal by harvester ants** 451
Einfluss der Unkrautnestgröße auf die Samenprädation durch Ernteteameisen
Paula R. Westerman, Valentina Atanackovic and Joel Torra
- Langzeiteffekt der Umstellung auf Ökologischen Landbau auf den Diasporenvorrat der Segetalflora (Untersuchungen im Ökohof Seeben, 1994 bis 2011)** 456
Long-term effects of conversion to organic farming on the weed seed bank (Investigations on the Ökohof Seeben, 1994-2011)
Christian Wittmann, Arne Petruschke und Olaf Christen
- Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz bei Weizensorten - relevante Eigenschaften für den Integrierten Pflanzenschutz** 465
Weed suppression and weed tolerance of wheat cultivars - relevant traits for Integrated Pest Management
Arnd Verschwele
- Prädation von Unkrautsamen durch samenfressende Carabiden unter dem Einfluss karnivorer Carabiden** 475
Weed seed predation by granivorous carabids as influenced by carnivorous carabids
Friederike de Mol, Wencke Ladwig und Paula Westerman
- Auswirkung der Mulchmasse der Vorfrucht Hafer auf die Unkrautflora bei Direktsaat von Ackerbohnen im Ökologischen Landbau** 483
Effect of straw mulch residues of previous crop oats on the weed population in direct seeded faba bean in Organic Farming
Luiz Felipe Perrone Massucati und Ulrich Köpke

- Unkraut unterdrückende Wirkung von Saatwicken in Reinsaat und im Gemengeanbau mit Hafer in Abhängigkeit von Aussaatstärkenverhältnis und Wickensorte** 493
Weed suppressive effect of common vetches in sole and intercrops with oat depending on seed density ratio and cultivar of vetch
Herwart Böhm
- From organic to conventional cropping – subsequent effects on weed incidence** 498
Wechsel vom ökologischen zum konventionellen Landbau – Auswirkungen auf die Verunkrautung
Jukka Salonen and Terho Hyvönen
- Wirkung von reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung im Ökologischen Landbau auf den Beikrautbesatz** 502
Influence of Reduced Tillage and Green Manures on Weeds in Organic Farming
Meike Grosse, Thorsten Haase und Jürgen Heß
- Thermal, mechanical and chemical control of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) in different habitats** 507
*Thermische, mechanische und chemische Bekämpfung der Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) in verschiedenen Umwelten*
Ulrike Sölter and Arnd Verschwele
- Nutzung von Rhizobakterien und Endophyten zur biologischen Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern** 511
Use of rhizobacteria and endophytes for biological control of weeds
Friederike Trognitz, Simon Dürr, Siegrid Widhalm, Abdul Samad, Günter Brader, Stéphane Compant und Angela Sessitsch

Sektion 6: Entwicklungen bei Herbiziden

Sektion 6: Developments in herbicides

- Herbicide Safeners: an overview** 516
Herbizid Safener: ein Überblick
Christopher Rosinger
- SYD 11720H – Eine neue Herbizidkombination zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Getreide im Herbst** 526
SYD 11720H - A new herbicide combination for grass weed and dicot control in cereals in autumn application
Hans Raffel und Ingo Meiners
- Advanced Formulation Technology and its benefits for Clomazone containing herbicides** 534
Fortschrittliche Formulierungstechnologie und ihr Nutzen für Clomazone-haltige Herbizide
David Hennens, Michel Sarazin, Victor Casaña-Giner and Miguel Gimeno

- Clearfield®-Clentiga® und Clearfield® Kombi Pack erweitern die Herbizidpalette zur gezielten Unkrautbekämpfung in Winter- und Sommerraps** 543
Clearfield®-Clentiga® and Clearfield® Kombi-Pack: Two new herbicides for targeted weed control in winter- and spring oilseed rape
Alfons Schönhammer und Joachim Freitag
- Control of ALS resistant volunteer oil seed rape and other dicotyledonous weeds with GF-145, a new cereal herbicide product containing isoxaben and florasulam** 552
Bekämpfung von ALS resistentem Ausfallraps und anderen dikotyledonen Unkräutern mit GF-145, einem neuen Getreideherbizid bestehend aus Isoxaben und Florasulam
Jörg Becker, Marcin Dzikowski, Arndt Wittrock and Anke Tiede
- Mehrjährige Erfahrungen mit GOLTIX® TITAN® bei der Bekämpfung von einjährigen zweikeimblättrigen Unkräutern in Rüben** 557
Experience with GOLTIX® TITAN® controlling annual dicotyledonous weeds in beets
Martina Fell, Antje-Viola Kalfa, Franz Stuke und Gerd Dingebauer
- MaisTer® Power: eine Terbutylazin- freie Lösung zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Mais** 565
MaisTer® Power: a Terbutylazin free new solution to control monocotyledonous and dicotyledonous weeds in maize.
Martin Wegener und Torsten Balz
- Atlantis FLEX (BAY 22010 H) – ein neues Herbizid zur Bekämpfung von Ungräsern in Getreide** 570
Atlantis FLEX (BAY 22010 H) – a new herbicide in cereals with efficacy against grasses
Dirk Kerlen und Peter Naunheim
- Differential sensitivity of locally naturalized *Panicum* species to 4-hydroxyphenyl pyruvate dioxygenase and acetolactate synthase-inhibiting herbicides** 578
Differentielle Sensitivität von lokal naturalisierten Panicum-Arten gegenüber 4-Hydroxyphenylpyruvat-Dioxygenase und Acetolactat- Synthase hemmenden Herbiziden
Benny De Cauwer, Tim Geeroms, Sofie Claerhout, Dirk Reheul and Robert Bulcke
- GWN-3189 B – Ein neues selektives Herbizid mit dem Wirkstoff Triallate zur Bekämpfung resistenter Ungräser in Getreide** 587
GWN-3189 B – A new selective herbicide based on Triallate for control of herbicide resistant grass weed in cereals
Friedrich Mühlischlegel, Luc Westerloppe und John Edmonds
- KYLEO® - Wirkungsweise unter der Lupe** 594
Kyleo® - mode of action under examination
Dagmar Heibertshausen, Manfred Konradt und Tobias Diehl

- BELVEDERE® Extra – eine neues Hochleistungsherbizid in Rüben** 599
BELVEDERE® Extra – a new high performance- herbicide in beets
Alexandra Donati und Martina Fell

Sektion 7: Herbizide - Management

Section 7: Herbicide - management

- Cruciferous weeds in oil seed rape – appearance and control** 606
Kreuzblütler als Unkräuter im Raps – Aussehen und Kontrolle
Günter Klingenhagen
- Colchicum autumnale* - Control strategies and their impact on vegetation composition of species-rich grasslands** 611
Colchicum autumnale – Strategien zur Kontrolle und ihr Effekt auf die Vegetationszusammensetzung eines artenreichen Grünlands
Melanie Seither and Martin Elsässer
- Neue Unkrautbekämpfungsstrategien im Mais unter Beachtung enger Maisfruchtfolgen, zunehmender ALS-Resistenzen bei typischen Unkräutern und wirkstoffspezifischer Applikationseinschränkungen** 621
New weed control strategies in maize considering narrow crop rotations with maize, greater ALS-resistance in common weeds and application restrictions with regard to active substance
Katrin Ewert, Gerhard Schröder, Ewa Meinlschmidt und Elke Bergmann
- Chemische Unkrautkontrolle bei der Anpflanzung von Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln (*Populus*) und Weiden (*Salix*)** 635
*Chemical weed control by planting of poplar (*Populus*) and willow (*Salix*) short rotation coppice*
Klaus Gehring, Thomas Festner und Stefan Thyssen
- Influence of adjuvants and interactions between herbicides and weed species by determination of relative adjuvant-effect on herbicide dose** 645
Einfluss von Additiven und Interaktionen zwischen Herbiziden und Unkrautarten durch Bestimmung des relativen Additiveinflusses auf die Aufwandmenge
Arne Brathuhn and Jan Petersen
- Entwicklung und Anwendung einer Heuristik für flexible Herbizidentscheidungen in Fruchtfolgeversuchen** 653
Development and application of a heuristic for flexible decisions about herbicide use in crop rotation field experiments
Thomas Kunze, Friederike de Mol und Bärbel Gerowitt
- Möglichkeiten der gezielten Nachauflaufbekämpfung von Unkräutern im Winterraps** 662
Possibilities for a specific post-emergence weed control in winter oilseed rape
Bernhard Werner

- Distribution, significance and control of foxtail, *Setaria* spp. and crabgrass, *Digitaria* spp. in the Netherlands, and the situation within Europe** 671
*Verbreitung, Bedeutung und Bekämpfung von Unkrauthirsen der Gattungen *Setaria* und *Digitaria* in den Niederlanden und die Situation in Europa*
Hilfred Huiting, Ton Rotteveel, Piet Spoorenberg and Rommie van der Weide
- Quantitative population epigenetics - a catalyst for sustainable agriculture** 682
Quantitative Populations-Epigenetik, Katalysator für eine nachhaltige Landwirtschaft
Reinhold Stauß
- Neue Möglichkeiten zur Unkrautbekämpfung in konventionellen Sojabohnen** 692
New possibilities for weed control in conventional soybeans
Jan Petersen
- Chemische Unkrautregulierung beim Anbau von Sojabohnen (*Glycine max*, L.)** 701
*Chemical weed control in soybean (*Glycine max*, L.)*
Klaus Gehring, Thomas Festner, Roland Gerhards, Kerstin Hüsgen und Stefan Thyssen
- Beeinflussung des Unkrautwachstums durch Fungizide** 709
Impact of fungicides on weed growth
Henning Nordmeyer
- Herbizid-Frühjahrsbehandlungen zur Bekämpfung von Trespens-Arten (*Bromus* spp.) in Wintergetreide** 714
*Herbicide spring treatments for the control of brome grasses (*Bromus* spp.) in winter cereals*
Klaus Gehring, Thomas Festner, Stefan Thyssen und Hans-Jürgen Wöppel
- Against the current - Clearfield® oilseed rape in Germany** 720
Gegen den Strom – Clearfield-Raps in Deutschland
Christine Laufer, Max Siebachmeyer, Sabine Gruber, Shoubing Huang, Ernst Albrecht Weber and Wilhelm Claupein
- Kann über die Lückenindikation eine chemische Unkrautbekämpfung in Öllein noch abgesichert werden?** 728
Is the validation of chemical weed control in linseed possible within the framework of a minor use procedure?
Christine Tümmeler und Gerhard Schröder
- Themenspektrum der Herbologie in Deutschland – dargestellt am Beispiel der „Unkrauttagung“ von 1955 bis 2012** 738
Topics of weed science in Germany - as exemplified by the „German Conference on Weed Biology and Weed Control“ between 1955 and 2012
Jürgen Schwarz

Integrated control of annual weeds by inter-row hoeing and intra-row herbicide treatment in spring oilseed rape

746

Integrierte Regulierung einjähriger Unkräuter durch zwischenreihiges Hacken und Herbizid-Bandapplikation im Rapsanbau

Anders TS Nilsson, Anneli Lundkvist, Theo Verwijst, Mikael Gilbertsson, Per-Anders Algerbo, David Hansson, Allan Andersson, Per Ståhl and Maria Stenberg

Einleitende Referate

Keynote presentation

Neue molekularbiologische und bioinformatische Methoden in der Unkrautforschung

New molecular biology and bioinformatics methods in weed research

Antje Krause

Fachhochschule Bingen, Berlinstr. 109, D-55411 Bingen am Rhein
a.krause@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.001

Zusammenfassung

Der zunehmende Einsatz kostengünstiger und zeitsparender Hochdurchsatz-Sequenzieretechniken (NGS, next-generation sequencing) ermöglicht die Bearbeitung völlig neuer Fragestellungen sowohl in der Medizin als auch in den Agrarwissenschaften. Die Verfügbarkeit von immer mehr genetischen Daten verschiedener Spezies und der Einsatz neuer molekularbiologischer und bioinformatischer Methoden zu ihrer Verarbeitung verschiebt damit den Blick von einzelnen Genen und Genprodukten hin zum Verständnis von Reaktionen, Interaktionen und ganzen biologischen Systemen.

Damit sind auch ihre Einsatzmöglichkeiten in der Unkrautforschung vielfältig. Untersuchungen des Genoms und Transkriptom eines Unkrauts können z.B. bei der Identifikation von Genprodukten, die als Zielorte (target-sites) für Herbizide geeignet sind, eingesetzt werden. Genexpressionsanalysen tragen zu einem besseren Verständnis von Herbizidresistenzen (sowohl Zielort- als auch Nicht-Zielortresistenzen) bei. Ferner kann die Sequenzierung des Metagenoms Aufschlüsse über mögliche Interaktionen mit Pflanzen-Mikroorganismen am untersuchten Standort geben.

Stichwörter: Biologische Datenbanken, Bioinformatik, Epigenetik, Exom, Expressionsdatenanalyse, Genom, Hochdurchsatz-Sequenzierung, Transkriptom

Abstract

The application of time and cost efficient high-throughput sequencing technologies called NGS, next-generation sequencing enables researchers to tackle completely new problems in medicine as well as in agriculture. The availability of increasing genetics data from various species along with the use of new molecular biology and bioinformatics methods for data handling shifts the focus from single genes or gene products to the understanding of reactions, interactions and entire biological systems.

In weed research the application of these methods is straightforward. The analysis of the genome and transcriptome of a weed can, for instance, lead to the identification of suitable gene products as target-sites for herbicides. Gene expression analyses result in a deeper understanding of herbicide resistance (target-site as well as non target-site resistance). In addition, sequencing the metagenome provides insights into potential interactions with microorganisms in the habitat of interest.

Keywords: Biological databases, bioinformatics, epigenetics, exome, expression analysis, genome, next-generation sequencing, transcriptome

Einleitung

Seit der kompletten Genom-Sequenzierung des pflanzlichen Modellorganismus *Arabidopsis thaliana* im Jahr 2000 (THE ARABIDOPSIS GENOME INITIATIVE, 2000) und der ersten Nutzpflanze *Oryza sativa* im Jahr 2002 (GOFF *et al.*, 2002) gewinnt die Analyse von genetischen Informationen zunehmend auch in der Pflanzenforschung an Bedeutung. Eine ganze Reihe neuer molekularbiologischer und bioinformatischer Methoden hat diese Entwicklung erst möglich gemacht.

Unter dem Begriff „Next Generation Sequencing“ (NGS) werden insbesondere neue Hochdurchsatz-Sequenzieretechniken zusammengefasst, die es aufgrund einer Parallelisierung bzw. Miniaturisierung der Sequenzierung ermöglichen, DNA mit einem sehr guten Zeit-Kosten-Verhältnis zu sequenzieren. So lagen die Kosten zur Sequenzierung von 1.000.000 Basenpaaren (1 Mbp) im April 2013 bei 0,06\$ im Vergleich zu über 5.000\$ im September 2001 (WETTERSTRAND, 2013). Hierbei wird unterschieden zwischen Sequenziergeräten, die eine Amplifizierung (d.h. Vervielfältigung, üblicherweise mit PCR (Polymerase Chain Reaction)) der zu sequenzierenden DNA voraussetzen (Amplified Single Molecule Sequencing, Second oder Next Generation Sequencing) und solchen, die einzelne DNA-Stränge ohne vorherige Amplifizierung sequenzieren (Single Molecule Sequencing, Third oder Next Next Generation Sequencing). Eine Übersicht über die aktuellen Technologien findet sich in Tabelle 1. Mit diesen Sequenziergeräten können in sehr kurzer Zeit (wenige Stunden) sehr große Mengen (mehrere Terabyte) an DNA- (Genom) bzw. mRNA-Daten (Transkriptom) für weitere Analysen in digitaler Form in den Computer gebracht werden. Diese Rohdaten werden dann dort mit Methoden der Bioinformatik weiter verarbeitet.

Tab. 1 Hochdurchsatz-Sequenzieretechniken; NGS: Next Generation Sequencing, Second Generation Sequencing, Amplified Single Molecule Sequencing; NNGS: Next Next Generation Sequencing, Third Generation Sequencing, Single Molecule Sequencing.

Tab. 1 High-throughput sequencing technologies.

Hersteller	Webseite	Gene-ration	Gerät(e)	Readlänge (in bp)	Reads pro Lauf
454 Sequencing, Roche	http://www.454.com/	NGS	GS Junior	400	100.000
			GS FLX+	600-1.000	1 Mio.
Illumina®	http://www.illumina.com/	NGS	HiSeq 2500	36-150	3 Mrd.
			GAllx	35-150	320 Mio.
Applied Biosystems®, Life Technologies	http://www.lifetechnologies.com/	NGS	5500xl SOLiD	75	3 Mio.
Ion Torrent™, Life Technologies	http://www.lifetechnologies.com/	NGS	Ion PGM™	35-400	2-3 Mio.
			Ion Proton™	200	60-80 Mio.
Pacific Biosciences®	http://www.pacificbiosciences.com/	NNGS	RS II	Max. >20.000	70.000
Oxford Nanopore Technologies	https://www.nanoporetech.com/ Geräte noch nicht auf dem Markt	NNGS	GridION™	48.000?	2.000?
			MinION™		

Da die meisten NGS-Sequenziergeräte nur sehr kurze Sequenzfragmente (Reads) produzieren und diese fehlerbehaftet sein können, ist die erste Herausforderung das Zusammenfügen dieser Fragmente zu größeren Sequenzabschnitten. Jede Position der zu rekonstruierenden Sequenz wird dabei idealerweise von mehreren Reads abgedeckt (Coverage), sodass die Reads allein aufgrund ihrer Ähnlichkeiten, d.h. ihres Überlapps (Overlap), untereinander zu einem größeren Sequenzabschnitt (Contig, Contiguous sequence) zusammengefügt werden können. Bei diesem „Assembly“ genannten Prozess kann grob zwischen zwei Problemstellungen unterschieden werden: Beim Mapping werden die Reads in Übereinstimmung mit einem vorgegebenen bekannten „Template“ gebracht. Dies kann ein bereits sequenziertes Genom, Transkriptom oder Exom derselben oder einer möglichst nah verwandten Spezies sein. Bei der *de-novo*-Assemblierung ist dagegen nichts über die Zielsequenz bekannt. Für einen aktuellen Überblick über Assemblierungsmethoden siehe NAGARAJAN und POP (2013).

Erst nach der Assemblierung kann die eigentliche Analyse der Sequenzen am Computer erfolgen. Tabelle 2 listet die wichtigsten Datensammlungen mit Ergebnissen aus öffentlichen Pflanzengenomprojekten auf.

Tab. 2 Pflanzengenetische Datensammlungen.

Tab. 2 *Plant genetics databases.*

Name	Webseite	Literatur
The Arabidopsis Information Resource (TAIR)	http://www.arabidopsis.org/	(LAMESCH <i>et al.</i> , 2012)
Ensembl plants	http://plants.ensembl.org/	(FLICEK <i>et al.</i> , 2013)
MIPS Plants DB	http://mips.helmholtz-muenchen.de/plant/genomes.jsp	(NUSSBAUMER <i>et al.</i> , 2013)
Gramene	http://www.gramene.org/	(YOUENS-CLARK <i>et al.</i> , 2011)
Phytozome	http://phytozome.net/	(GOODSTEIN <i>et al.</i> , 2012)
<i>Brachypodium distachyon</i>	http://www.brachypodium.org/	(THE INTERNATIONAL BRACHYPODIUM INITIATIVE, 2010)
PlantGDB	http://www.plantgdb.org/	(DUVICK <i>et al.</i> , 2008)
PlantCYC / Plant Metabolic Network (PMN)	http://www.plantcyc.org/	(ZHANG <i>et al.</i> , 2010)
1001 Genomes - A Catalog of <i>Arabidopsis thaliana</i> Genetic Variation	http://www.1001genomes.org/	(CAO <i>et al.</i> , 2011)

Anwendungsgebiete

Im Folgenden sollen die einzelnen Methoden zur Analyse von Genom, Metagenom, Exom, Transkriptom, Metabolom und Epigenom näher betrachtet werden.

Genom

Das Genom umfasst die Gesamtheit der genetischen, vererbaren Information eines Organismus. Die Sequenzierung des gesamten Genoms ermöglicht die Untersuchung von Variationen (Single Nucleotide Polymorphisms (SNP) und Structural Variants) innerhalb einer Spezies (GAN *et al.*, 2011; EDWARDS *et al.*, 2013) und Unterschieden zwischen verschiedenen Spezies. Problematisch bei der Rekonstruktion der kompletten Genomsequenz sind die durch die Sequenzieretechnik bedingten sehr kurzen Reads und das Auftreten repetitiver Sequenzen, die bei der Assemblierung nicht eindeutig zugeordnet werden können.

Neben einer Reihe von inzwischen komplett sequenzierten Nutzpflanzen wie *Oryza sativa* (GOFF *et al.*, 2002), *Hordeum vulgare* (THE INTERNATIONAL BARLEY GENOME SEQUENCING CONSORTIUM *et al.*, 2012), *Zea mays* (WEI *et al.*, 2009), *Triticum aestivum* (BRENCHLEY *et al.*, 2012) und *Glycine max* (SCHMUTZ *et al.*, 2010) gilt *Brachypodium distachyon* (THE INTERNATIONAL BRACHYPODIUM INITIATIVE, 2010) aufgrund seines kleinen Genoms inzwischen als geeigneter Modellorganismus für Gräser.

Da bisher nur wenige Pflanzengenome komplett sequenziert sind, werden hierfür in erster Linie *de-novo*-Assemblierungstools verwendet (SCHATZ *et al.*, 2012).

Metagenom

Das Metagenom bildet die Gesamtheit der genomischen Information der Mikroorganismen einer bestimmten Lebensgemeinschaft (Biozönose) oder eines Biotops. Da die Herkunftsspezies der genomischen Sequenzen hierbei nicht bekannt sind, müssen durch den Vergleich mit bereits bekannten Sequenzen zunächst die in der Probe (meist Umweltprobe aus Wasser oder Boden) enthaltenen Spezies bestimmt werden. Danach kann dann ihr Einfluss auf und ihre Interaktion mit z. B. Nutzpflanzen genauer untersucht werden.

Geeignete Programme hierfür sind MEGAN (HUSON *et al.*, 2007), mothur (SCHLOSS *et al.*, 2009) und CLOTU (KUMAR *et al.*, 2011).

Exom

Das Exom besteht aus den potenziell für Proteine kodierenden Abschnitten (Exons) der Gene eines Genoms. Um das Exom sequenzieren zu können, müssen zunächst die Exons aus dem Genom selektiert werden (sequence capture). Dies setzt voraus, dass eine Referenz-Genomsequenz der zu untersuchenden Spezies bereits bekannt ist. Da das Exom bei höheren Organismen nur einen kleinen Teil des Genoms ausmacht, ist es sehr viel kostengünstiger, das Exom anstelle weiterer Genome dieser Spezies zu sequenzieren, um Variationen in den kodierenden Bereichen zu untersuchen (MASCHER *et al.*, 2013).

Transkriptom

Das Transkriptom repräsentiert die Gesamtheit der zu einem bestimmten Zeitpunkt unter bestimmten Bedingungen in einem Gewebe exprimierten Gene (d.h. die von der DNA in mRNA transkribierten Gene). Unter Genexpression versteht man dabei die Ausprägung des Genotyps zum Phänotyp eines Organismus oder eines Gewebes. Da die mRNA nicht direkt sequenziert werden kann, muss sie zunächst in cDNA (complementary DNA) mit Hilfe des Enzyms Reverse Transkriptase umgeschrieben werden und die cDNA kann dann anschließend sequenziert werden. Diese Technik wird als RNA-Seq bezeichnet (WANG *et al.*, 2009). Das Transkriptom liefert zusammen mit dem Genom und dem Exom Informationen darüber, welche Exons durch alternatives Spleißen (alternative splicing) eines Gens zu einem bestimmten Zeitpunkt in welche mRNA transkribiert werden (USADEL und FERNIE, 2013). Neben den auf Homologiesuche basierenden weit verbreiteten Tools BLAST, PSI-BLAST (ALTSCHUL *et al.*, 1997), BLAT (KENT, 2002) und InterProScan (QUEVILLON *et al.*, 2005) werden zur Annotation der sequenzierten Transkripte zunehmend auch Ontologien mit einem standardisierten Wortschatz verwendet (LOHSE *et al.*, 2012).

Für einen Überblick über die Transkriptomanalyse siehe GÓNGORA-CASTILLO und BUELL (2013), geeignete Programme für die Assemblierung eines Transkriptoms sind Trinity (GRABHERR *et al.*, 2011) und Oases (SCHULZ *et al.*, 2012).

Neben der qualitativen Information über die in einer Probe enthaltenen Transkripte hinaus lassen sich mit RNA-Seq auch quantitative Daten gewinnen, d.h. Genexpressionsdaten, für die bisher Microarray-Experimente durchgeführt wurden. Auch wenn inzwischen ein großes Repertoire an statistischen Methoden zur Auswertung von Microarray-Experimenten existiert, haben sie den Nachteil, dass nur bekannte Transkripte nachgewiesen und verschiedene Experimente nur sehr aufwändig miteinander verglichen werden können (WANG *et al.*, 2009). Durch die Weiterentwicklung geeigneter Tools zur Auswertung von RNA-Seq-Experimenten werden Microarray-Experimente daher in diesem Bereich zunehmend verdrängt.

Zum exakten qualitativen und quantitativen Nachweis genetischen Materials bzw. der Expression einzelner Gene ist die Quantitative Real-Time-PCR (qRT-PCR oder qPCR) geeignet. Hierbei werden während der Durchführung der PCR Fluoreszenzsignale der amplifizierten Sequenzen gemessen. Voraussetzung für einen quantitativen Nachweis ist das Vorhandensein eines Referenzgens, dessen Expression gleichzeitig gemessen wird und zur Normalisierung der Expression des Zielgens dient. Als Referenzgen wird üblicherweise ein „housekeeping gene“ verwendet, dessen Expression unabhängig von äußeren Einflüssen in allen Zellen und Geweben konstant sein sollte. Da auch hier die Expression über das Vorhandensein von mRNA gemessen wird, für die Durchführung der PCR jedoch DNA benötigt wird, muss die mRNA zunächst mit Hilfe des Enzyms Reverse Transkriptase in cDNA umgeschrieben werden. Das gesamte Verfahren wird dann als RT-PCR (reverse transcription PCR) bezeichnet (HOLZAPFEL und WICKERT, 2007; DUHOUX und DÉLYE, 2013).

Metabolom

Die Metabolomik umfasst alle charakteristischen Stoffwechsel-Eigenschaften einer Zelle, eines Gewebes oder eines Organismus und geht damit über die Analyse von Genom, Transkriptom und Proteom hinaus hin zum Verständnis des Gesamtsystems (Systembiologie) einschließlich der

beteiligten Metaboliten (MACEL *et al.*, 2010). Da bisher weder Hochdurchsatz-Technologien zur Charakterisierung und Quantifizierung von Metaboliten noch Referenzdatenbanken existieren, ist die Metabolomik das bisher am wenigsten fortgeschrittene ‚omik‘-Fachgebiet (HEGEMAN, 2010; DÉLYE, 2013). Zukünftige Entwicklungen werden dann auch eine gemeinsame Betrachtung von Metagenom- und Metabolomdaten (environmental metabolomics) möglich machen (BRUNETTI *et al.*, 2013).

Zur Analyse von Veränderungen im Stoffwechsel von Pflanzen unter unterschiedlichen Bedingungen können jedoch bereits Expressions- und Transkriptomdaten z. B. mit dem Tool MAPMAN auf bekannte Stoffwechselwege projiziert werden (THIMM *et al.*, 2004; USADEL *et al.*, 2009).

Epigenom

Unter Epigenetik werden alle genetischen Faktoren zusammengefasst, die auf Veränderungen an den Chromosomen (z. B. DNA-Methylierung, Histon-Modifikation) beruhen, ohne dass eine Veränderung der DNA-Sequenz zugrunde liegt. Einzelne Abschnitte oder ganze Chromosomen können so in ihrer Aktivität beeinflusst werden. Diese Veränderungen können durch Umwelteinflüsse (z. B. große Trockenheit) verursacht sein und an die Folgegeneration vererbt werden (KINOSHITA und JACOBSEN, 2012). Neueste Entwicklungen (Bisulfit-Sequenzierung, BS-Seq) ermöglichen erste Einblicke in das Methylierungsmuster kompletter Genome (DINH *et al.*, 2012).

Ausblick

Die Entwicklung neuer Sequenzieretechniken ermöglicht die Bearbeitung völlig neuer Fragestellungen sowohl in der Medizin als auch den Agrarwissenschaften. Dadurch sind jedoch auch die Anforderungen an leistungsfähige Soft- und Hardware stark gestiegen und die Menge an Daten ist der aktuellen Entwicklung von Methoden (SCHLESKY *et al.*, 2012) und gebrauchsfähiger Software weit voraus. Damit ist momentan nicht mehr die Erzeugung der Daten der einschränkende Faktor sondern ihre anschließende Speicherung, Verarbeitung, Analyse und Interpretation am Computer. Um die vielfältigen Möglichkeiten der verfügbaren computergestützten Methoden optimal nutzen zu können, ist auf der einen Seite eine Entwicklung zu benutzerfreundlicherer Software (GOFF *et al.*, 2011; SMITH, 2013) und auf der anderen Seite die Bereitschaft von Medizinern, Biologen und Agrarwissenschaftlern nötig, diese Methoden als weitere Werkzeuge in ihren Arbeitsalltag zu integrieren (SERVICE, 2013).

Literatur

- ALTSCHUL, S. F., T. L. MADDEN, A. A. SCHÄFFER, J. ZHANG, Z. ZHANG, W. MILLER und D. J. LIPMAN, 1997: Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Res.* **25**(17), 3389-3402.
- BRENCHLEY, R., M. SPANNAGL, M. PFEIFER, G. L. BARKER, R. D'AMORE, A. M. ALLEN, N. MCKENZIE, M. KRAMER, A. KERHORNOU, D. BOLSER, S. KAY, D. WAITE, M. TRICK, I. BANCROFT, Y. GU, N. HUO, M.-C. LUO, S. SEHGAL, B. GILL, S. KIANIAN, O. ANDERSON, P. KERSEY, J. DVORAK, W. R. MCCOMBIE, A. HALL, K. F. X. MAYER, K. J. EDWARDS, M. W. BEVAN und N. HALL, 2012: Analysis of the bread wheat genome using whole-genome shotgun sequencing. *Nature* **491**(7426), 705-710.
- BRUNETTI, C., R. M. GEORGE, M. TATTINI, K. FIELD und M. P. DAVEY, 2013: Metabolomics in plant environmental physiology. *J. Exp. Bot.* **64**(13), 4011-4020.
- CAO, J., K. SCHNEEBERGER, S. OSSOWSKI, T. GÜNTHER, S. BENDER, J. FITZ, D. KOENIG, C. LANZ, O. STEGLE, C. LIPPERT, X. WANG, F. OTT, J. MÜLLER, C. ALONSO-BLANCO, K. BORGWARDT, K. J. SCHMID und D. WEIGEL, 2011: Whole-genome sequencing of multiple *Arabidopsis thaliana* populations. *Nat. Genet.* **43**(10), 956-963.
- DÉLYE, C., 2013: Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. *Pest Manag. Sci.* **69**(2), 176-187.
- DINH, H. Q., M. DUBIN, F. J. SEDLAZECK, N. LETTNER, O. MITTELSTEN SCHEID und A. VON HAESELER, 2012: Advanced methylome analysis after bisulfite deep sequencing: an example in *Arabidopsis*. *PLoS One.* **7**(7), e41528.
- DUHOUX, A., und C. DÉLYE, 2013: Reference genes to study herbicide stress response in *Lolium sp.*: up-regulation of P450 genes in plants resistant to acetolactate-synthase inhibitors. *PLoS One.* **8**(5), e63576.
- DUVICK, J., A. FU, U. MUPPIRALA, M. SABHARWAL, M. D. WILKERSON, C. J. LAWRENCE, C. LUSHBOUGH und V. BRENDDEL, 2008: PlantGDB: a resource for comparative plant genomics. *Nucleic Acids Res.* **36**(Database issue), D959-D965.
- EDWARDS, D., J. BATLEY, und R. J. SNOWDON, 2013: Accessing complex crop genomes with next-generation sequencing. *Theor. Appl. Genet.* **126**(1), 1-11.

- FLICEK, P., I. AHMED, M. R. AMODE, D. BARRELL, K. BEAL, S. BRENT, D. CARVALHO-SILVA, P. CLAPHAM, G. COATES, S. FAIRLEY, S. FITZGERALD, L. GIL, C. GARCÍA-GIRÓN, L. GORDON, T. HOURLIER, S. HUNT, T. JUETTSMANN, A. K. KÁHÁRI, S. KEENAN, M. KOMOROWSKA, E. KULESHA, I. LONGDEN, T. MAUREL, W. M. McLAREN, M. MUFFATO, R. NAG, B. OVERDUIN, M. PIGNATELLI, B. PRITCHARD, E. PRITCHARD, H. S. RIAT, G. R. S. RITCHIE, M. RUFFIER, M. SCHUSTER, D. SHEPPARD, D. SOBRAL, K. TAYLOR, A. THORMANN, S. TREVANION, S. WHITE, S. P. WILDER, B. L. AKEN, E. BIRNEY, F. CUNNINGHAM, I. DUNHAM, J. HARROW, J. HERRERO, T. J. P. HUBBARD, N. JOHNSON, R. KINSELLA, A. PARKER, G. SPUDICH, A. YATES, A. ZADISSA and S. M. J. SEARLE, 2013: Ensembl 2013. *Nucleic Acids Res.* **41**(Database issue), D48-D55.
- GAN, X., O. STEGLE, J. BEHR, J. G. STEFFEN, P. DREWE, K. L. HILDEBRAND, R. LYGNSOE, S. J. SCHULTHEISS, E. J. OSBORNE, V. T. SREEDHARAN, A. KAHLES, R. BOHNERT, G. JEAN, P. DERWENT, P. KERSEY, E. J. BELFIELD, N. P. HARBERD, E. KEMEN, C. TOOMAJIAN, P. X. KOVER, R. M. CLARK, G. RÄTSCH and R. MOTT, 2011: Multiple reference genomes and transcriptomes for *Arabidopsis thaliana*. *Nature* **477**(7365), 419-423.
- GOFF, S. A., M. VAUGHN, S. MCKAY, E. LYONS, A. E. STAPLETON, D. GESSLER, N. MATASCI, L. WANG, M. HANLON, A. LENARDS, A. MUIR, N. MERCHANT, S. LOWRY, S. MOCK, M. HELMKE, A. KUBACH, M. NARRO, N. HOPKINS, D. MICKLOS, U. HILGERT, M. GONZALES, C. JORDAN, E. SKIDMORE, R. DOOLEY, J. CAZES, R. McLAY, Z. LU, S. PASTERNAK, L. KOESTERKE, W. H. PIEL, R. GRENE, C. NOUTSOS, K. GENDLER, X. FENG, C. TANG, M. LENT, S.-J. KIM, K. KVILEKVAL, B. S. MANJUNATH, V. TANNEN, A. STAMATAKIS, M. SANDERSON, S. M. WELCH, K. A. CRANSTON, P. SOLTIS, D. SOLTIS, B. O'MEARA, C. ANE, T. BRUTNELL, D. J. KLEIBENSTEIN, J. W. WHITE, J. LEBBENS-MACK, M. J. DONOGHUE, E. P. SPALDING, T. J. VISION, C. R. MYERS, D. LOWENTHAL, B. J. ENQUIST, B. BOYLE, A. AKOGLU, G. ANDREWS, S. RAM, D. WARE, L. STEIN and D. STANZIONE, 2011: The iPlant Collaborative: Cyberinfrastructure for Plant Biology. *Front. Plant Sci.* **2**, 34.
- GOFF, S. A., D. RICKE, T.-H. LAN, G. PRESTING, R. WANG, M. DUNN, J. GLAZEBROOK, A. SESSIONS, P. OELLER, H. VARMA, D. HADLEY, D. HUTCHISON, C. MARTIN, F. KATAGIRI, B. M. LANGE, T. MOUGHAMER, Y. XIA, P. BUDWORTH, J. ZHONG, T. MIGUEL, U. PASZKOWSKI, S. ZHANG, M. COLBERT, W.-I. SUN, L. CHEN, B. COOPER, S. PARK, T. C. WOOD, L. MAO, P. QUAIL, R. WING, R. DEAN, Y. YU, A. ZHARKIKH, R. SHEN, S. SAHASRABUDHE, A. THOMAS, R. CANNINGS, A. GUTIN, D. PRUSS, J. REID, S. TAVTIGIAN, J. MITCHELL, G. ELDRIDGE, T. SCHOLL, R. M. MILLER, S. BHATNAGAR, N. ADEY, T. RUBANO, N. TUSNEEM, R. ROBINSON, J. FELDHAUS, T. MACALMA, A. OLIPHANT and S. BRIGGS, 2002: A draft sequence of the rice genome (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*). *Science* **296**(5565), 92-100.
- GÓNGORA-CASTILLO, E. and C. R. BUELL, 2013: Bioinformatics challenges in de novo transcriptome assembly using short read sequences in the absence of a reference genome sequence. *Nat. Prod. Rep.* **30**(4), 490-500.
- GOODSTEIN, D. M., S. SHU, R. HOWSON, R. NEUPANE, R. D. HAYES, J. FAZO, T. MITROS, W. DIRKS, U. HELSTEN, N. PUTNAM and D. ROKHSAR, 2012: Phytozome: a comparative platform for green plant genomics. *Nucleic Acids Res.* **40**(Database issue), D1178-D1186.
- GRABHERR, M. G., B. J. HAAS, M. YASSOUR, J. Z. LEVIN, D. A. THOMPSON, I. AMIT, X. ADICONIS, L. FAN, R. RAYCHOWDHURY, Q. ZENG, Z. CHEN, E. MAUCELI, N. HACOHEH, A. GNIIRKE, N. RHIND, F. DI PALMA, B. W. BIRREN, C. NUSBAUM, K. LINDBLAD-TOH, N. FRIEDMAN and A. REGEV, 2011: Full-length transcriptome assembly from RNA-Seq data without a reference genome. *Nat. Biotechnol.* **29**(7), 644-652.
- HEGEMAN, A. D., 2010: Plant metabolomics - meeting the analytical challenges of comprehensive metabolite analysis. *Brief. Funct. Genomics.* **9**(2), 139-148.
- HOLZAPFEL, B. und L. WICKERT, 2007: Die quantitative Real-Time-PCR (qRT-PCR). *Methoden und Anwendungsgebiete. Biol. Unserer Zeit.* **37**(2), 120-126.
- HUSON, D. H., A. F. AUCH, J. QI and S. C. SCHUSTER, 2007: MEGAN analysis of metagenomic data. *Genome Res.* **17**(3), 377-386.
- KENT, W. J., 2002: BLAT - the BLAST-like alignment tool. *Genome Res.* **12**(4), 656-664.
- KINOSHITA, T. and S. E. JACOBSEN, 2012: Opening the door to epigenetics in PCP. *Plant Cell Physiol.* **53**(5), 763-765.
- KUMAR, S., T. CARLSEN, B.-H. MEVIK, P. ENGER, R. BLAALID, K. SHALCHIAN-TABRIZI und H. KAUSERUD, 2011: CLOTU: an online pipeline for processing and clustering of 454 amplicon reads into OTUs followed by taxonomic annotation. *BMC Bioinformatics.* **12**, 182.
- LAMESCH, P., T. Z. BERARDINI, D. LI, D. SWARBRECK, C. WILKS, R. SASIDHARAN, R. MULLER, K. DREHER, D. L. ALEXANDER, M. GARCIA-HERNANDEZ, A. S. KARTHIKEYAN, C. H. LEE, W. D. NELSON, L. PLOETZ, S. SINGH, A. WENSEL und E. HUALA, 2012: The Arabidopsis Information Resource (TAIR): improved gene annotation and new tools. *Nucleic Acids Res.* **40**(Database issue), D1202-D1210.
- LOHSE, M. und B. USADEL, 2012: Klassifikation pflanzlicher Genome im Schnelldurchlauf. *BIOspektrum* **18**(3), 277-279.
- LOHSE, M., A. M. BOLGER, A. NAGEL, A. R. FERNIE, J. E. LUNN, M. STITT und B. USADEL, 2012: RobiNA: a user-friendly, integrated software solution for RNA-Seq-based transcriptomics. *Nucleic Acids Res.* **40**(Web Server issue), W622-W627.
- MACEL, M., N. M. VAN DAM und J. J. KEURENTJES, 2010: Metabolomics: the chemistry between ecology and genetics. *Mol. Ecol. Resour.* **10**(4), 583-593.
- MASCHER, M., T. A. RICHMOND, D. J. GERHARDT, A. HIMMELBACH, L. CLISSOLD, D. SAMPATH, S. AYLING, B. STEURNAGEL, M. PFEIFER, M. D'ASCENZO, E. D. AKHUNOV, P. E. HEDLEY, A. M. GONZALES, P. L. MORRELL, B. KILIAN, F. R. BLATTNER, U. SCHOLZ, K. F. X. MAYER, A. J. FLAVELL, G. J. MUEHLBAUER, R. WAUGH, J. A. JEDDELOH und N. STEIN, 2013: Barley whole exome capture: a tool for genomic research in the genus *Hordeum* and beyond. *Plant J.* [Epub ahead of publication].
- NAGARAJAN, N. und M. POP, 2013: Sequence assembly demystified. *Nat. Rev. Genet.* **14**(3), 157-167.
- NUSSBAUMER, T., M. M. MARTIS, S. K. ROESSNER, M. PFEIFER, K. C. BADER, S. SHARMA, H. GUNDLACH und M. SPANNAGL, 2013: MIPS PlantsDB: a database framework for comparative plant genome research. *Nucleic Acids Res.* **41**(Database issue), D1144-D1151.
- QUEVILLON, E., V. SILVENTOINEN, S. PILLAI, N. HARTE, N., MULDER, R. APWEILER und R. LOPEZ, 2005: InterProScan: protein domains identifier. *Nucleic Acids Res.* **33**(Web Server issue), W116-W120.
- SCHATZ, M. C., J. WITKOWSKI und W. R. MCCOMBIE, 2012: Current challenges in de novo plant genome sequencing and assembly. *Genome Biol.* **13**(4), 243.
- SCHLIESKY, S., U. GOWIK, A. P. WEBER und A. BRÄUTIGAM, 2012: RNA-Seq Assembly - Are We There Yet? *Front. Plant Sci.* **3**, 220.

- SCHLOSS, P. D., S. L. WESTCOTT, T. RYABIN, J. R. HALL, M. HARTMANN, E. B. HOLLISTER, R. A. LESNIEWSKI, B. B. OAKLEY, D. H. PARKS, C. J. ROBINSON, J. W. SAHL, B. STRES, G. G. THALLINGER, D. J. VAN HORN und C. F. WEBER, 2009: Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. *Appl. Environ. Microbiol.* **75**(23), 7537-7541.
- SCHMUTZ, J., S. B. CANNON, J. SCHLUETER, J. MA, T. MITROS, W. NELSON, D. L. HYTEN, Q. SONG, J. J. THELEN, J. CHENG, D. XU, U. HELSTEN, G. D. MAY, Y. YU, T. SAKURAI, T. UMEZAWA, M. K. BHATTACHARYYA, D. SANDHU, B. VALLIYODAN, E. LINDQUIST, M. PETO, D. GRANT, S. SHU, D. GOODSTEIN, K. BARRY, M. FUTRELL-GRIGGS, B. ABERNATHY, J. DU, Z. TIAN, L. ZHU, N. GILL, T. JOSHI, M. LIBAULT, A. SETHURAMAN, X.-C. ZHANG, K. SHINOZAKI, H. T. NGUYEN, R. A. WING, P. CREGAN, J. SPECHT, J. GRIMWOOD, D. ROKHSAR, G. STACEY, R. C. SHOEMAKER und S. A. JACKSON, 2010: Genome sequence of the palaeopolyploid soybean. *Nature* **463**(7278), 178-183.
- SCHULZ, M. H., D. R. ZERBINO, M. VINGRON und E. BIRNEY, 2012: Oases: robust de novo RNA-seq assembly across the dynamic range of expression levels. *Bioinformatics* **28**(8), 1086-1092.
- SERVICE, R. F., 2013: Biology's Dry Future. *Science* **342**(6155), 186-189.
- SMITH, D. R., 2013: The battle for user-friendly bioinformatics. *Front. Genet.* **4**, 187.
- THE ARABIDOPSIS GENOME INITIATIVE, 2000: Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*. *Nature* **408**(6814), 796-815.
- THE INTERNATIONAL BARLEY GENOME SEQUENCING CONSORTIUM, K. F. MAYER, R. WAUGH, J. W. BROWN, A. SCHULMAN, P. LANGRIDGE, M. PLATZER, G. B. FINCHER, G. J. MUEHLBAUER, K. SATO, T. J. CLOSE, R. P. WISE und N. STEIN, 2012: A physical, genetic and functional sequence assembly of the barley genome. *Nature* **491**(7426), 711-716.
- THE INTERNATIONAL BRACHYPODIUM INITIATIVE, 2010: Genome sequencing and analysis of the model grass *Brachypodium distachyon*. *Nature* **463**(7282), 763-768.
- THIMM, O., O. BLÄSING, Y. GIBON, A. NAGEL, S. MEYER, P. KRÜGER, J. SELBIG, L. A. MÜLLER, S. Y. RHEE und M. STITT, 2004: MAPMAN: a user-driven tool to display genomics data sets onto diagrams of metabolic pathways and other biological processes. *Plant J.* **37**(6), 914-939.
- USADEL, B., F. POREE, A. NAGEL, M. LOHSE, A. CZEDIK-EYSENBERG und M. STITT, 2009: A guide to using MapMan to visualize and compare Omics data in plants: a case study in the crop species, Maize. *Plant Cell Environ.* **32**(9), 1211-1229.
- USADEL, B. und A. R. FERNIE, 2013: The plant transcriptome - from integrating observations to models. *Front. Plant Sci.* **4**, 48.
- WANG, Z., M. GERSTEIN und M. SNYDER, 2009: RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics. *Nat. Rev. Genet.* **10**(1), 57-63.
- WEI, F., J. ZHANG, S. ZHOU, R. HE, M. SCHAEFFER, K. COLLURA, D. KUDRNA, B. P. FAGA, M. WISSOTSKI, W. GOLSER, S. M. ROCK, T. A. GRAVES, R. S. FULTON, E. COE, P. S. SCHNABLE, D. C. SCHWARTZ, D. WARE, S. W. CLIFTON, R. K. WILSON und R. A. WING, 2009: The physical and genetic framework of the maize B73 genome. *PLoS Genet.* **5**(11), e1000715.
- WETTERSTRAND, K. A., 2013: DNA Sequencing Costs: Data from the NHGRI Genome Sequencing Program (GSP) Available at: <http://www.genome.gov/sequencingcosts>. Accessed 29.09.2013.
- YOUENS-CLARK, K., E. BUCKLER, T. CASSTEVENS, C. CHEN, G. DECLERCK, P. DERWENT, P. DHARMAWARDHANA, P. JAISWAL, P. KERSEY, A. S. KARTHIKEYAN, J. LU, S. R. MCCOUCH, L. REN, W. SPOONER, J. C. STEIN, J. THOMASON, S. WEI und D. WARE, 2011: Gramene database in 2010: updates and extensions. *Nucleic Acids Res.* **39**(Database issue), D1085-D1094.
- ZHANG, P., K. DREHER, A. KARTHIKEYAN, A. CHI, A. PUJAR, R. CASPI, P. KARP, V. KIRKUP, M. LATENDRESSE, C. LEE, L. A. MUELLER, R. MULLER und S. Y. RHEE, 2010: Creation of a genome-wide metabolic pathway database for *Populus trichocarpa* using a new approach for reconstruction and curation of metabolic pathways for plants. *Plant Physiol.* **153**(4), 1479-1491.

Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Managementverfahren

Weed control through crop rotation and alternative management practices

Herwart Böhm

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland
herwart.boehm@ti.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.002

Zusammenfassung

Ökonomische sowie agrar- und gesellschaftspolitische Veränderungen haben Auswirkungen auf das Anbaumanagement und somit auch auf die Fruchtfolgegestaltung und damit verbunden auf die Unkrautflora. Gleichfalls führen weitere Veränderungen im Anbau wie reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren, frühere Aussaattermine etc. zu einer Zunahme des Unkrautaufkommens bzw. zu erhöhtem Herbizideinsatz und tragen gegebenenfalls zu Herbizidresistenzen bei. Die positiven Effekte von Fruchtfolgen, aber auch von alternativen Managementverfahren wie Sortenwahl, Zwischenfruchtanbau, Mischfruchtanbau, Grünguthäcksel sowie der Beitrag von Prädatoren als auch Verfahren der direkten nichtchemischen Unkrautregulierung werden vorgestellt und sowohl für den konventionellen Anbau als auch für den Ökologischen Landbau diskutiert. Sollen alternative Managementverfahren verstärkt in der Praxis eingesetzt werden, müssen vor allem Zielkonflikte abgebaut werden bzw. Anreize geschaffen werden.

Stichwörter: Fruchtfolge, direkte Verfahren, Management, mechanische Kontrolle, Unkraut, vorbeugende Maßnahmen

Abstract

Economic as well as agricultural and socio-political changes have an impact on crop management and thus also on crop rotation design and the related effects on the weed flora. Likewise other changes in cultivation such as reduced tillage practices, earlier sowing date, etc. cause an increase in weed infestation resp. an increased use of herbicides and if so contribute to herbicide resistance. The positive effects of crop rotation, but also of alternative management practices such as choice of varieties, catch crops, mixed cropping, green chop, and the share of predators, as well as methods of direct non-chemical weed control are presented and discussed for both, conventional and organic farming. If alternative management methods should be more practiced, especially trade-offs need to be broken, or incentives be offered.

Keywords: Crop rotation, direct control, management, mechanical control, preventive measures, weed

Einleitung

Fruchtfolgen übernehmen eine Vielzahl von Funktionen, wozu u.a. die notwendige Unterbrechung von Infektionszyklen, eine bessere Nährstoffausnutzung, die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch einen Wechsel von humuszehrenden und humusmehrenden Fruchtarten zählen. Ebenso leisten Fruchtfolgen einen erheblichen Beitrag als vorbeugende Maßnahme zur Unkrautregulierung und zur Erhaltung der Biodiversität in unseren Agrar-Ökosystemen (LIEBMAN und DYCK, 1993; ALTIERI, 1999; BLACKSHAW *et al.*, 2007). Andererseits wird die Entscheidung eines Betriebsleiters hinsichtlich der Fruchtfolgegestaltung oder Fruchtefolge geprägt durch veränderte agrar- und gesellschaftspolitisch initiierte Rahmenbedingungen (z. B. Bioenergie, Maisanbau) und veränderte Markt- und Nachfragesituationen. Dies kann sich massiv auf die Anbaukonzentration einzelner Kulturen auswirken. Ebenso kann die Einführung neuer Entwicklungen im Anbaumanagement wie zum Beispiel die Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung, die aus ökologischen (z. B. Erosionsschutz), aber auch aus ökonomischen Gründen (z. B. Treibstoff- und Arbeitseinsparung) durchaus positiv zu bewerten sind, deutliche Änderungen im Management der Unkrautregulierung bewirken. Gleichzeitig werden von Gesellschaft und Politik zunehmend eine Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes oder sogar, wie im Bereich des Ökologischen Landbaus, der vollständige Verzicht auf den Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln gefordert. Diese Forderungen finden ihren Niederschlag in entsprechenden Richtlinien wie dem Aktionsrahmen der Europäischen

Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden (2009/128/EG) oder in nationalen Programmen wie dem NAP (BMELV, 2013). Somit setzt sich eine Anbauentscheidung aus einer Abwägung vieler, sehr unterschiedlicher Faktoren zusammen: acker- und pflanzenbauliche Anforderungen, betriebswirtschaftliche und ökonomische Belange, arbeitswirtschaftliche Gründe, gesetzliche Vorgaben etc.. Andererseits verlangen zunehmende Herbizidresistenzen oder auch die Entscheidung durch eine Veränderung der Anbauform (z. B. Ökologischer Landbau) eine stärkere Beachtung der Fruchtfolgegestaltung als auch weiterer alternativer Managementmaßnahmen, die einen Beitrag zur Unkrautregulierung leisten können. Dies können sowohl ergänzende Maßnahmen zur Optimierung von Fruchtfolgen sein wie z. B. der Zwischenfruchtanbau oder aber Maßnahmen zur Verbesserung der Bestandsentwicklung als auch alternative Verfahren zur direkten Unkrautregulierung mittels mechanischer oder thermischer Verfahren.

Ausgangssituation

Genauere Angaben zu Veränderungen hinsichtlich der Fruchtfolgegestaltung stehen nicht zur Verfügung. Insofern können nur aus statistischen Angaben zum Flächenumfang einzelner Kulturen oder Fruchtartengruppen entsprechende Ableitungen getroffen werden. Tabelle 1 zeigt neben einer deutlichen Abnahme von über 300 Tsd. ha für das Dauergrünland im Bereich des Ackerbaus vor allem Veränderungen für den Anbauumfang von Silomais. Dieser hat in den letzten 10 Jahren um 75 % zugenommen und nimmt somit einen Flächenanteil von 17,4 % ein. Der Getreideanbau hat dagegen leicht abgenommen, beträgt aber immer noch 55 % der Ackerfläche. Winterraps und Wintergetreide sind aufgrund ihrer hohen Ertragsleistungen die vorherrschenden Kulturen. Bei den weniger flächenstarken Kulturen waren vor allem die Hülsenfrüchte von einem deutlichen Anbau rückgang in Höhe von fast 62 % betroffen (Tab. 1). Die Flächenzunahme im Maisanbau hat ohne Zweifel Auswirkungen auf die Fruchtfolgegestaltung bzw. Fruchtfolge in den landwirtschaftlichen Betrieben. STEINMANN und DOBERS (2013) konnten anhand einer Auswertung von INVEKOS-Datensätzen der Jahre 2005 bis 2010 für das Bundesland Niedersachsen zeigen, dass auf 7,1 % der Ackerfläche Mais in jedem der in die Untersuchung einbezogenen Jahre auf derselben Fläche angebaut wurde, auf 9,1 % der Fläche stand Mais 3-mal, auf 10,4 % der Fläche Mais 4-5-mal. Mais war somit auf 46,9 % der Maisfläche direkte Vorfrucht. Der Anteil an Weizen, der 4-5-mal innerhalb der 6 Jahre auf derselben Fläche angebaut wurde, lag bei 14,8 % der Ackerfläche (STEINMANN und DOBERS, 2013). Deutlich wird, dass sich der Anbau im konventionellen Landbau immer stärker, auch unter Einbeziehung regionaler Standortbedingungen, auf nur wenige Kulturarten beschränkt, Fruchtfolgen damit immer enger oder vollkommen aufgegeben und durch Monokulturen abgelöst werden. Insbesondere bei Monokulturen besteht das Risiko einer zunehmenden Verunkrautung bzw. eines erhöhten Einsatzes von Herbiziden. Ebenso ermöglichen sie das Auftreten neuer, oftmals schwer zu bekämpfender Unkräuter, wie KLINGENHAGEN *et al.* (2012) anhand des Auftretens von *Solanum carolinense* L. in Körnermais gezeigt haben.

Demgegenüber fordert die Gesetzgebung zunehmend, dass mehrere Kulturen angebaut werden und der Fruchtfolgegestaltung wieder größere Bedeutung beigemessen wird. So sieht der Aktionsrahmen der Europäischen Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden (2009) vor, dass Fruchtfolgen ein wesentliches Element sein sollen und damit neben anderen Managementelementen eine Schlüsselfunktion des integrierten Pflanzenbaus darstellen. Im Pflanzenschutzgesetz sind ebenfalls ausdrücklich vorbeugende Maßnahmen zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes benannt.

Im Rahmen des EU-Aktionsrahmens muss somit auch das Konzept des Integrierten Weed Managements (IWM) neu überdacht werden. Sollen alternative Managementmethoden verstärkt auch im konventionellen Anbau zum Einsatz kommen, müssen Zielkonflikte aufgelöst oder klarere Rahmenrichtlinien vorgegeben werden, die es ermöglichen, dass diese Verfahren auch von den Landwirten in ihrer Anbauplanung bzw. Betriebsausstattung integriert werden. Bestrebungen wie z. B. von GUMMERT *et al.* (2012) vor dem Hintergrund der EU-Richtlinie für die nachhaltige

Verwendung von Pestiziden für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau vorgenommen, schaffen hier eine erste Grundlage, bieten jedoch nach wie vor nur wenige Möglichkeiten des Einsatzes alternativer Managementverfahren. So wird die Bekämpfung von Unkräutern über die gesamte Fruchtfolge und je nach Bodenbearbeitungsverfahren durch eine intensive Stoppelbearbeitung sowie die Grundbodenbearbeitung und die Saatbettbereitung empfohlen. Bei den Maßnahmen zur direkten Regulierung von Unkräutern wird jedoch deutlich, dass als Hinderungsgründe für den Einsatz alternativer Methoden wie eine Kombination von Bandspritzung und mechanischer Unkrautregulierung z. B. die fehlende maschinelle Ausstattung der Betriebe und die höheren Arbeitserledigungskosten angeführt werden. Damit wird deutlich, dass der Zielkonflikt zwischen ökonomischen und ökologischen Belangen weiterhin bestehen bleibt.

Tab. 1 Flächenumfang von Dauergrünland und Acker sowie der Anbauumfang bzw. deren Anteile an der Ackerfläche in den Jahren 2003 und 2012 (BMELV, 2005 und 2012).

Tab. 1 Acreage of permanent grassland and cropland as well as the acreage resp. percentage of the cropland in the years 2003 and 2012 (BMELV, 2005 and 2012).

Kultur	2003		2012	
	Fläche in 1.000 ha	Anteil in %	Fläche in 1.000 ha	Anteil in %
Dauergrünland	4.968		4.654	
Ackerland	11.827	100,0	11.850	100,0
Getreide	6.839	57,8	6.516	55,0
Mais	1.616	13,7	2.566	21,7
Silomais	1.173	9,9	2.056	17,4
Körnermais incl. CCM	443	3,7	510	4,3
Raps	1.266	10,7	1.301	11,0
Zuckerrüben	446	3,8	404	3,4
Kartoffeln	287	2,4	238	2,0
Hülsenfrüchte	207	1,8	79	0,7

Interessenkonflikte, den Einsatz von Herbiziden zu reduzieren, ergeben sich jedoch auch aus anderen, ebenfalls geforderten Veränderungen in der Bewirtschaftung. Dies lässt sich z. B. an der Forderung nach einem verstärkten Einsatz reduzierter Bodenbearbeitungsverfahren nachvollziehen, die in der Regel mit einer Zunahme der Verunkrautung bzw. einer Erhöhung der Herbizidmaßnahmen einhergeht. FREIER *et al.* (2012) konnten im Rahmen des Netzes Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz für die Auswertung der Jahre 2007 bis 2011 zeigen, dass der Behandlungsindex für Herbizide bei pflugloser Bearbeitung aufgrund der zusätzlichen Anwendung glyphosathaltiger Herbizide gegenüber der Pflugbearbeitung erhöht ist. So stieg der Behandlungsindex im Durchschnitt aller Vorfruchtgruppen bei Winterweizen gegenüber Pflug (BI = 1,7) um 0,2, bei Wintergerste (Pflug: BI = 1,3) um 0,4 und bei Winterraps (Pflug: BI = 1,4) um 0,6. In Deutschland wurden im Wirtschaftsjahr 2009/10 38 % der Ackerfläche mit reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren bestellt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013), sodass diese Veränderungen auch bezüglich der erhöhten Herbizidbehandlungen nicht zu vernachlässigen sind. Gleichfalls können sich Problemunkräuter, wie z. B. eine Verungrasung mit Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), stärker ausbreiten. Dies wiederum führt in Verbindung mit vereinfachten Fruchtfolgen sowie hohen Getreideanteilen bzw. hohen Anteilen an Winterungen als auch vorgezogenen Aussaatterminen zu deutlich höheren Herbizidaufwendungen bzw. zu Resistenzen

gegenüber Herbiziden, sodass keine ausreichende Bekämpfung der Unkräuter bzw. -gräser mehr erfolgen kann (LANDSCHREIBER *et al.*, 2012).

Im Ökologischen Landbau stellt sich die Situation etwas anders dar, da auf den Einsatz von Herbiziden generell verzichtet wird. Somit übernimmt die Fruchtfolge eine wesentliche Schlüsselposition als vorbeugende Maßnahme zur Unkrautregulierung. Dennoch ist in den letzten Jahrzehnten auch im Ökologischen Landbau eine Entwicklung zur Intensivierung zu verzeichnen, die auch mit einer Vereinfachung von Fruchtfolgen einhergehen kann. Ebenso wirtschaftet ein zunehmender Anteil an Öko-Betrieben viehlos oder nur mit einem geringen Viehbesatz, sodass der Anteil an Futterleguminosen wie Klee- oder Luzernegrass in der Fruchtfolge reduziert oder die Nutzungsdauer von einer zwei- oder mehrjährigen auf eine einjährige Nutzung umgestellt wird. Dies hat in Abhängigkeit des Standortes oftmals direkten Einfluss auf die Entwicklung von Wurzelunkräutern wie Quecke auf leichten, oder Ackerkratzdistel oder Ampfer auf mittleren und schweren Standorten. Ebenfalls stellt sich im Ökologischen Landbau zunehmend die Frage nach der Einführung von Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung. Diese können jedoch zu einer Erhöhung des Unkrautauftkommens führen.

Somit besteht in beiden Anbausystemen die Notwendigkeit zur Diskussion über die Fruchtfolgegestaltung als auch über den Einsatz bzw. die Weiterentwicklung alternativer Managementsysteme zur Unkrautregulierung.

Fruchtfolge

Die von Fruchtfolgen ausgehenden Effekte können an sich nie für sich allein betrachtet werden, da sie neben den standörtlichen Gegebenheiten und dem betrieblichen Produktionsschwerpunkt in besonderem Maße von ackerbaulichen Maßnahmen wie Bodenbearbeitung und Düngung, aber auch von der Bewirtschaftungsform (ökologisch, konventionell) abhängig sind. Eine Bewertung von Fruchtfolgen sollte daher andere Bewirtschaftungsfaktoren einbeziehen. Der klassische Ansatz ist die Anlage von Dauerfeldversuchen mit unterschiedlichen Fruchtfolgen, die weitere Faktoren wie z.B. Bodenbearbeitung beinhalten können. Fruchtfolgeversuche bieten die Möglichkeit spezifische Fragestellungen, wie z. B. die Entwicklung der Unkrautflora, unter definierten Bedingungen zu untersuchen. Sie müssen jedoch, um entsprechend abgesicherte Ergebnisse erarbeiten zu können, langfristig, d. h. über mehrere Fruchtfolgeperioden durchgeführt werden. Dies stellt die größte Herausforderung für die Aufrechterhaltung solcher Versuche dar, da Projektträger in der Regel nur noch zwei- bis dreijährige Forschungsvorhaben fördern und die Grundausstattung vieler Institutionen eine Aufrechterhaltung von Dauerfeldversuchen kaum noch gestatten.

Daher stehen nur wenige neuere und aktuellere Untersuchungen zur Verfügung. Grundsätzliche Zusammenhänge und Erkenntnisse aus früheren Untersuchungen sind jedoch weiterhin gültig. LIEBMAN und DYCK (1993) führten eine umfangreiche Literaturlauswertung zu Auswirkungen von Fruchtfolgen im Vergleich zum Anbau von Monokulturen durch. Ihre Auswertungen zeigten, dass in den Testkulturen der Fruchtfolge in 21 Fällen eine geringere Verunkrautung, in einem Fall eine höhere und in fünf Fällen eine vergleichbare Verunkrautung im Vergleich zur Monokultur auftrat. Ein vergleichbares Ergebnis konnte auch für die Unkrautsamendichte festgestellt werden, d. h. in 9 Fällen war sie in der Fruchtfolge geringer und in drei Fällen vergleichbar zu den Monokulturen. Auch hinsichtlich des Ertragsniveaus wiesen die Testkulturen in den Fruchtfolgen in 11 Fällen höhere Erträge auf als in den Monokulturen, in drei Fällen waren sie auf vergleichbarem Niveau. Damit wird deutlich, dass Fruchtfolgen im Vergleich zum Anbau von Monokulturen deutlich positive Effekte auf das Unkrautvorkommen aufweisen. Die Gründe der positiven Effekte von Fruchtfolgen auf die Unkrautunterdrückung sind vielfältig und können u. a. auf unterschiedliche Ansprüche der Kulturpflanzen hinsichtlich der Ressourcen wie Nährstoffe, Wasser usw., allelopathische Wirkungen, abwechselnde Bodenbearbeitungs- und Saatzeiten oder mechanische Zerstörung im Falle von Feldfutterbau oder Beweidung zurückgeführt werden (LIEBMAN und DYCK, 1993).

Neuere Ergebnisse für den konventionellen Anbau liefern die Auswertungen von SCHWARZ und MOLL (2010) für zwei unterschiedliche Betriebssysteme, wobei ein Marktfruchtbetrieb mit einer Fruchtfolge mit 67 % Getreideanteil mit einem Futterbaubetrieb mit integriertem Feldfutterbau und einem Getreideanteil von 50 % über einen 12-jährigen Zeitraum (zwei Fruchtfolgeperioden) verglichen wurde. Zudem wurden die Herbizide in zwei unterschiedlichen Aufwandmengen ausgebracht als auch unbehandelte Kontrollparzellen belassen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Futterbaufuchtfolge schwächer verunkrautet war als die Marktfruchtfolge. Dies konnte sowohl für die dikotylen Unkräuter als auch für *Apera spica-venti* nachgewiesen werden. Hierfür verantwortlich ist einerseits der geringere Getreideanteil in der Futterbaufuchtfolge als auch der Anbau von Luzerne-Klee gras, bei dem durch die Schnittnutzung die Unkräuter in ihrer Entwicklung immer wieder unterbrochen und infolge der Eintrag von Unkrautsamen reduziert wurde. Nach Umstellung des Versuches in 2007 auf eine einheitliche energiepflanzenbetonte Fruchtfolge war die Verunkrautung auf den ehemaligen Flächen der Marktfruchtfolge nach wie vor höher als auf denen der Futterbaufuchtfolge (SCHWARZ *et al.*, 2012).

Im Bereich des Ökologischen Landbaus besteht seit 1998 ein zweifaktorieller Dauerfeldversuch auf dem Gladbacher Hof der Universität Gießen, in dem drei verschiedene Fruchtfolgen bzw. Betriebssysteme und verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren verglichen werden (SCHMIDT und LEITHOLD, 2005; SCHULZ, 2012). Dies sind ein Gemischtbetrieb mit Viehhaltung und zweijährigem Luzerne-Klee grasanbau sowie zwei viehlos wirtschaftende Betriebssysteme, eines mit 1-jähriger Grünbrache sowie das andere mit einer reinen Marktfruchtfolge, in der die Grünbrache durch eine Körnerleguminose (*Vicia faba*) ersetzt wurde. Die Bodenbearbeitungssysteme weisen eine abnehmende Eingriffsintensität auf, d. h. vom Pflug über Zweischichtenpflug bis hin zu dem nichtwendenden Bodenbearbeitungsverfahren mit Schichtengrubber und Rotoregge. In der ersten Fruchtfolgeperiode wurde der Besatz mit Unkräutern sowohl durch die Fruchtfolge als auch durch die Bearbeitungsintensität stark beeinflusst (SCHMIDT und LEITHOLD, 2005), d. h. in der Fruchtfolge ohne feinsamigen Leguminosen war der Unkrautdruck deutlich höher. Der Unkrautdeckungsgrad war in allen nicht mit dem Pflug krumentief bearbeiteten Varianten höher, was sich am deutlichsten in der Schichtengrubbervariante zeigte. Hier wurde auch der deutlich höchste Besatz mit *Cirsium arvense* festgestellt. In der zweiten Fruchtfolgeperiode zeigten sich jedoch kaum noch Unterschiede zwischen den drei Fruchtfolgen. Lediglich die oberirdische Biomasse von *C. arvense* zeigte in einigen Jahren ein etwas höheres, aber statistisch nicht sicheres Niveau in der reinen Marktfruchtfolge. Dies konnten Untersuchungen am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau in Trenthorst nicht bestätigen (BÖHM *et al.*, 2014). Hier zeigte sich ein deutlich höherer und zunehmender Besatz mit *C. arvense* in einer Marktfruchtfolge mit einjähriger Brache bzw. Rotklee vermehrung gegenüber einer Wiederkäuer-Fruchtfolge mit 2-jährigem Klee grasanbau. Entgegengesetzt verhielt sich das Auftreten von *Galium aparine*.

Neben klassischen Fruchtfolgeversuchen können Aussagen zur Unkrautflora und dessen Vorkommen durch ein flächenhaftes Monitoring bei gleichzeitiger Betriebsdatenerfassung gewonnen werden. Um statistisch verlässlich, absicherbare Ergebnisse zu generieren, muss der Stichprobenumfang hoch sein. Zum anderen beziehen sich die Aussagen bzw. Zusammenhänge immer auf die Spannweite, die für einen Parameter erfasst wurde. Neuere Erhebungen auf Praxisschlägen zur Unkrautzusammensetzung in Mais (DE MOL *et al.*, 2012) oder zum Auftreten von *Geranium* spp. in Raps (HANZLIK *et al.*, 2012) wurden auch hinsichtlich des Einflusses unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Bodenbearbeitung, Aussaatzeit und Fruchtfolge bzw. Vorfrucht etc. ausgewertet. Hierbei wurde bei den Untersuchungen zum Raps kein Einfluss der Fruchtfolge bzw. der Vorfrucht festgestellt. Maßgeblich für die Förderung der *Geranium*-Arten waren die nichtwendende Bodenbearbeitung und eine frühe Rapsaussaart. Dagegen war die Unkrautzusammensetzung in den untersuchten Maisbeständen (DE MOL *et al.*, 2012) abhängig von Fruchtfolgeparametern wie z. B. dem Anteil an Mais bzw. Raps in der Fruchtfolge und ergänzend, wenn Mais als Vor- und Vorvorfrucht stand.

Hinsichtlich einer Erhöhung der Diversität von Unkrautarten ist der positive Einfluss vielseitiger Fruchtfolgen bekannt (LIEBMAN und DYCK, 1993; ALTIERI, 1999). Jedoch wirken sich auch die Unkrautbekämpfungsstrategien erheblich auf die Unkrautartenvielfalt aus. Untersuchungen von ULBER *et al.* (2009) zeigen, dass die Artenvielfalt an Unkräutern in Öko-Fruchtfolgen höher war als in einfachen (≤ 3 Kulturen mit Herbstsaat) oder diversifizierten (3 - 5 Kulturen, mindestens eine im Frühjahr gesäte Kultur) konventionellen Fruchtfolgen. Gleichzeitig reduzierten die Unkrautregulierungsmaßnahmen in beiden konventionellen, nicht aber in den ökologischen Fruchtfolgesystemen die Artenvielfalt an Unkräutern.

Förderprogramme zur Fruchtartendiversifizierung, die im Rahmen der GAK in einigen Bundesländern wie Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Thüringen angeboten werden, können einen Beitrag leisten, um die Fruchtartenvielfalt und damit eine Erweiterung der Fruchtfolgen zu befördern.

Bodenbearbeitung

Über die Auswirkungen unterschiedlich intensiver Bodenbearbeitung auf die Unkrautflora liegen eine Vielzahl von Untersuchungen sowohl für den Bereich des konventionellen als auch für den ökologischen Landbau vor (CHAUHAN *et al.*, 2012; DITTMANN, 2012; MELANDER *et al.*, 2013). Die überwiegende Anzahl an Untersuchungen kommt zu dem Ergebnis, dass nichtwendende Bodenbearbeitungsverfahren zu einer deutlichen Zunahme der Unkrautflora und, je nach Standort und angebauten Kulturen, von Problemunkräutern im Vergleich zur Pflugbearbeitung führen. Andererseits gibt es ebenfalls eine Vielzahl von Untersuchungen, die die positiven Effekte der Stoppelbearbeitung für die Unkrautregulierung, insbesondere auch im Ökologischen Landbau für die Bekämpfung von Wurzelunkräutern, bestätigen (LUKASHYK *et al.*, 2008; GRUBER und CLAUPEIN, 2009; MELANDER *et al.*, 2013).

Insofern kann die Fruchtfolgegestaltung nicht allein betrachtet werden, sondern muss im Zusammenhang mit einhergehenden Veränderungen bei der Bodenbearbeitung gesehen werden. Reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren bieten eine Vielzahl von ökologischen (Erosionsschutz, ...) als auch ökonomischen (Reduzierung des Dieserverbrauchs, ...) Vorteilen, andererseits führen sie zu Nachteilen (erhöhter Unkrautdruck, intensiverer Einsatz von Herbiziden mit den damit verbundenen Wirkungen auf das Ökosystem, ...). Somit ist zu klären, welchen Beitrag die Fruchtfolgegestaltung oder alternative Managementverfahren leisten können, entsprechende Zielkonflikte so aufzulösen, dass sie auch Akzeptanz und Anwendung in der Landwirtschaft finden.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Verunkrautung bei der Anwendung von Bodenbearbeitungsverfahren mit reduzierter Eingriffsintensität bei gleichzeitiger Tendenz zu vereinfachten Fruchtfolgen mit zumeist hohen Anteilen an Wintergetreiden befasst sich ein Beitrag von MELANDER *et al.* (2013), in dem alternative Managementverfahren zur Unkrautregulierung aufgezeigt und diskutiert werden. Interessant ist, dass bei nahezu allen alternativen Managementverfahren darauf hingewiesen wird, dass zu diesen im Ökologischen Landbau bereits Erfahrungen vorliegen und zum Teil bereits in der Praxis zum Einsatz kommen. Dass alternative Managementverfahren im System des Ökologischen Landbaues eine höhere Akzeptanz genießen, liegt jedoch zweifelsfrei daran, dass der Verzicht auf den Herbizideinsatz in diesem Anbausystem den Zielkonflikt erst gar nicht entstehen lässt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass im konventionellen Anbau die Vorteile alternativer Managementverfahren betriebswirtschaftlich bzw. ergänzend ihr ökologischer Nutzen bewertet und diese honoriert werden müssen. Andernfalls werden alternative Managementverfahren sich nur durchsetzen, wenn sie dem Landwirt ökonomische Vorteile bieten oder diese durch entsprechende Vorgaben verpflichtend sind.

Alternative Managementverfahren

Förderung des Pflanzenwachstums und Sortenwahl

Eine gute Unkrautunterdrückung können durch viele anbaubegleitende Maßnahmen, wie z. B. homogene Pflanzenbestände mit einer ausreichenden Pflanzendichte und optimierter räumlicher Verteilung auf dem Feld, optimale Saattermine, angepasste Düngung mit entsprechender Ausbringtechnik bzw. Platzierung, erzielt werden (BLACKSHAW *et al.*, 2007). Somit stellen alle Maßnahmen, die das Pflanzenwachstum befördern, die einfachste Möglichkeit einer vorbeugenden Unkrautregulierung dar. Hierzu zählen ebenfalls eine Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung, die dazu beitragen Bodenverdichtungen zu vermeiden als auch eine an die Kultur und den Standort optimal angepasste Saattechnik.

Auch die Sortenwahl kann hierbei einen wesentlichen Beitrag leisten. So konnte bereits EISELE (1992) unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus zeigen, dass morphologisch differenzierte Weizensorten eine unterschiedliche Bodenbeschattung bewirken, die sich mit steigendem Blattflächenindex erhöht. Dabei konnten Sorten mit planophiler Blattstellung die Einstrahlung am effizientesten reduzieren. Bereits geringe Differenzen in der Interzeption der photosynthetisch aktiven Strahlung als Maß für das Beschattungsvermögen von Winterweizensorten beeinflussen die Massenentwicklung und den Deckungsgrad von Unkräutern deutlich. Weiterführende Untersuchungen wurden von DREWS *et al.* (2009) mit drei Weizensorten sowie unterschiedlich weiten Reihenabständen und variiertem Drillrichtung durchgeführt. Auch hier beeinflusste die Blatthaltung der Weizensorten den Unkrautdeckungsgrad und die -biomasse maßgeblich. Die langstrohige Weizensorte mit planophiler Blattstellung bei Reihenabständen von 12 bzw. 17 cm reduzierte die Unkrautbiomasse und den Unkrautdeckungsgrad um bis zu 73 % im Vergleich zu einer Weizensorte mit erektophiler Blattstellung bei einem Reihenabstand von 24 cm. Die Drillrichtung (Ost-West vs. Nord-Süd) hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des Unkrautes. Weiter wurde festgestellt, dass die Beschattungsfähigkeit deutlich abhängig ist von den Eigenschaften der Unkrautarten wie z. B. Entwicklungszeit, Wuchshöhe und Schattentoleranz. Die Autoren schlussfolgern, dass die Wahl einer langstrohigen und planophilen Sorte bei gleichzeitig engem Reihenabstand eine effektive Möglichkeit der Unkrautkontrolle darstellt. Auch SCHMIDTKE *et al.* (2013) kommen auf Basis mehrjähriger und -ortiger Untersuchungen in Landessortenversuchen im Ökologischen Landbau zu der Schlussfolgerung, dass Lichttransmissionsmessungen in Winterweizensortenversuchen sehr gut geeignet sind, sortenbedingte Unterschiede im Beschattungsvermögen zu erfassen. Ihre Untersuchungsergebnisse zeigen, dass insbesondere zum Zeitpunkt der Bestockung in mehr als zwei Drittel der untersuchten Umwelten mit Hilfe der Lichttransmissionsmessungen in den Weizenbeständen Sorten als statistisch gesichert im Hinblick auf ihr Beschattungsvermögen in den Versuchen klassifiziert werden konnten. Somit sind Sorten, die bereits zu frühen Entwicklungsstadien über eine gute Pflanzenentwicklung mit ausreichender Blattmasse verfügen, besonders geeignet, um eine frühzeitige Unkrautunterdrückung durch den Weizenbestand zu erreichen. Dies deckt sich mit Ergebnissen von LEMERLE *et al.* (1996) bei Sommerweizen.

Im konventionellen Anbau führte VERSCHWELE (2014) verschiedene, mehrjährige Untersuchungen durch. Bei der Prüfung von 10 Winterweizensorten konnte er in einer dreijährigen Versuchsserie mit dem Modellunkraut *Sinapis alba* einen engen Zusammenhang ($r = 0,87$) zwischen Sprossmasse des Modellunkrautes und dem Lichteinfall durch den Bestand nachweisen. In einer weiteren Versuchsserie in den Jahren 2008-2010 mit 8 Winterweizensorten und unterschiedlichen Unkrautregulierungsverfahren (Striegel, 50 % und 100 % Herbizid) führte der Striegeleinsatz zu einem Mehrertrag von $1,23 \text{ t ha}^{-1}$, die 100 %-Herbizidvariante zu einem Mehrertrag von $2,08 \text{ t ha}^{-1}$. Der durch die Unkrautbekämpfung bedingte Ertragszuwachs war dabei sortenabhängig. So betrug dieser bei der Sorte Bussard 5 %, bei der Sorte Impression jedoch 11 %. Die Versuche zeigen, dass die unterschiedliche Konkurrenzkraft von Weizensorten die Bekämpfungswirkung von chemischen und mechanischen Bekämpfungsverfahren unterstützt. Die Sortenwahl kann somit auch im konventionellen Anbau als wichtige Maßnahme, entweder zur Reduzierung der

Herbizidaufwandmenge oder als Baustein für ein Herbizid-Resistenzmanagement, genutzt werden (VERSCHWELE, 2014). Diese Erkenntnisse sollten in die Beratungspraxis als auch in Sortenversuchen Berücksichtigung finden.

Entsprechende Ergebnisse lassen sich bei anderen Kulturen finden. Eine Vielzahl von Wuchstypen, halbblattlose und normalblättrige sowie kurz- und langstrohige Typen, weisen Erbsen auf. An Wintererbsen konnte gezeigt werden, dass normalblättrige Typen über ein besseres Unkrautunterdrückungs-Potential als halbblattlose Typen verfügen. Allerdings können normalblättrige Sorten nur im Gemenge mit einem Getreide angebaut werden, um eine ausreichende Standfestigkeit durch die Stützfrucht Getreide hinsichtlich einer sicheren Beerntung zu gewährleisten (GRONLE und BÖHM, 2014).

Insgesamt lässt sich ableiten, dass Merkmale wie z. B. frühe Jugendentwicklung und Blattstellung, die eine unkrautunterdrückende Wirkung haben, stärker im Züchtungsprozess berücksichtigt werden sollten. In der Züchtung von Maissorten für den Ökologischen Landbau wurde ein solcher Ansatz bereits integriert (BURGER *et al.*, 2008). Dabei konnte gezeigt werden, dass an das System des Ökologischen Landbaus adaptierte Genotypen zuverlässiger unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus selektiert werden können als unter den Bedingungen des konventionellen Landbaus (MESSMER *et al.*, 2010). Auch in der Sojazüchtung wird die Beikrauttoleranz von Genotypen gegenüber Unkräutern geprüft, wobei hier mit „künstlichen Unkräutern“ in Form von verschiedenen Kulturarten bzw. Kulturartengemengen gearbeitet wird (PFAFF *et al.*, 2012).

Zwischenfruchtanbau

Von Zwischenfrüchten ist bekannt, dass sie neben positiven Wirkungen auf den Nährstoffhaushalt sowie das Nährstoffmanagement, die Bodenstruktur, das Bodenleben sowie die Reduzierung von Nährstoffausträgen durch Auswaschung auch eine gute Unkraut unterdrückende Wirkung haben (BLACKSHAW *et al.*, 2007; OLESEN *et al.*, 2007). Aufgrund des zunehmenden Anteils an Wintergetreide und der früheren Saattermine ist ein Zwischenfruchtanbau im konventionellem Anbau wegen des oftmals zu kleinen Zeitfensters nur noch in begrenztem Umfang realisierbar, da die für die Entwicklung der Zwischenfrüchte zur Verfügung stehende Vegetationszeit deutlich verkürzt ist. BRUST *et al.* (2011) haben daher untersucht, ob Zwischenfrüchte oder Untersaaten in solchen Anbausystemen zur Unkrautunterdrückung beitragen können. Weißklee (*Trifolium repens*) und Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) konnten als Untersaat in Weizen und Dinkel etabliert werden und reduzierten die Unkrautdichte und -biomasse. Weder die Bestandsdichte noch der Kornertrag des Getreides wurde von der Untersaat negativ beeinflusst. Ebenso wird nach neuen Kulturen für den Zwischenfruchtanbau gesucht, die über ein besonders gutes Unkrautunterdrückungsvermögen verfügen. Rau- oder Sandhafer (*Avena strigosa* Schreb.), der in Südbrasilien eine wichtige Zwischenfrucht darstellt, wies auch unter hiesigen Bedingungen eine gute Unkraut unterdrückende Wirkung in Versuchen auf, die zu einer zum Gelbsenf vergleichbaren Reduzierung der Unkrautdichte führte (BRUST *et al.*, 2011). Auffallend war, dass der Rauhafer keine höhere Sprosstrockenmasse gebildet hat, dafür aber, wenn auch statistisch nicht sicherbar, die höchste Wurzel-Trockenmasse aufwies. Die Autoren folgern, dass somit ein sehr gutes Wurzelwachstum zu einer deutlichen Reduzierung der Unkrautdichte beitragen kann (BRUST *et al.*, 2011).

Die Ergebnisse belegen, dass Zwischenfrüchte auch bei nur geringer Entwicklungszeit ausreichende ober- und unterirdische Biomasse entwickeln sowie Untersaaten auch in intensiv geführten Kulturen erfolgreich etabliert werden können und damit einen Beitrag zur Reduzierung des Unkrautaukommens leisten können. Gleichwohl müssen die klimatischen und standörtlichen Bedingungen eine ausreichende und schnelle Entwicklung von Zwischenfrüchten ermöglichen.

Mischfrucht- bzw. Gemengeanbau

Die Vorteile des Gemengeanbaus, insbesondere in low-input-Systemen hinsichtlich einer Erhöhung der Erträge bzw. der Ertragsstabilität sind vielfach belegt (BLACKSHAW *et al.*, 1993; LIEBMAN und DYCK, 1993; HAUGGAARD-NIELSEN *et al.*, 2001, 2008; NEUMANN *et al.*, 2007). Als Ursachen für diese Effekte können der gegenseitige Ausgleich der im Gemenge angebauten Kulturen, eine bessere Nährstoffausnutzung aufgrund unterschiedlicher Ansprüche der Kulturpflanzen aber auch das unterschiedlich ausgeprägte Wurzelwerk der Gemengepartner, eine Reduzierung von Krankheiten, ein verringerter Befall mit Schädlingen, eine bessere Beerntbarkeit aufgrund einer verbesserten Standfestigkeit durch den Gemengepartner insbesondere bei Körnererbsen (MURRAY und SWENSEN, 1985; PATRIQUIN *et al.*, 1988; BEDOUSSAC, 2009; SEIDENGLANZ *et al.*, 2011; URBATZKA *et al.*, 2011a; GRONLE *et al.*, 2013) aber auch ein höheres Potential zur Unkrautunterdrückung sein (KIMPEL-FREUND *et al.*, 1998; CORRE-HELLOU *et al.*, 2011). Insofern ist das Wissen recht umfassend und der Gemengeanbau nimmt im Ökologischen Landbau vor allem bei Kulturen mit schlechter Unkrautunterdrückung – dies sind oftmals Körnerleguminosen, insbesondere Erbsen – in den vergangenen Jahren deutlich zu. Bei blattreichen Erbsenformen oder auch Wicken, die zum Drusch angebaut werden sollen, ist ein Mischfruchtanbau aus Gründen der fehlenden Standfestigkeit notwendig, d.h. hier muss der Gemengepartner die Stützfruchtwirkung für die Leguminose übernehmen, damit eine gute Beerntung gewährleistet ist (BÖHM, 2013; GRONLE und BÖHM, 2014).

Die Ursache für das oftmals höhere Unkrautaufkommen in Erbsen-Reinsaaten im Vergleich zu Erbsen-Hafer-Gemengen kann in der schnelleren Jugendentwicklung des Hafers im Vergleich zur Erbse liegen (HAUGGAARD-NIELSEN *et al.*, 2001) und der damit verbundenen früheren und stärkeren Beschattung des Bodens im Gemenge. KIMPEL-FREUND *et al.* (1998) haben gezeigt, dass Erbsen-Reinsaaten zu Beginn der Pflanzenentwicklung mehr photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) zum Unkrautbestand transmittieren als Erbsen-Hafer-Gemenge. Damit steht Unkräutern zu Beginn der Pflanzenentwicklung mehr Licht zur Verfügung. Als weitere Ursachen, die mit zunehmender Pflanzenentwicklung an Bedeutung zunehmen, kommen eine stärkere Konkurrenz zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen um Wasser und/oder Nährstoffe sowie eine Abgabe von wachstumshemmenden phenolischen Substanzen des Hafers über Wurzelexsudation in Frage (BAGHESTANI *et al.*, 1999).

Im Ökologischen Landbau wurde der Mischfruchtanbau zudem unter dem Aspekt betrachtet, ob die gute Unkraut unterdrückende Wirkung des Gemengeanbaus ausreichend ist, um das in der Regel stärkere Unkrautaufkommen bei der Anwendung von Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung zu kompensieren (GRONLE und BÖHM, 2012). Die mehrjährig mit Sommerformen (halbblattlose Typen) und Winterformen (halbblattlose und normalblättrige Typen) der Erbsen im Gemenge mit Hafer bzw. Wintertriticale durchgeführten Feldversuche zeigten, dass halbblattlose Erbsensorten, angebaut als Sommererbsen-Hafer-Gemenge oder Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten, die Unterschiede im Unkrautaufkommen bei flachwendender Bodenbearbeitung im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaaten der Erbsen bei tiefwendender Bodenbearbeitung kompensieren konnten. Die geprüften normalblättrigen Wintererbsen weisen ein so hohes Unkrautunterdrückungs-Potentials auf, dass es weder zwischen der tief- und flachwendenden Bodenbearbeitung noch zwischen dem Anbau in Reinsaat oder Mischsaat Unterschiede hinsichtlich des Unkrautaufkommens gab (GRONLE und BÖHM, 2012).

Grünguthäcksel

Ein weiteres bislang in Körnerleguminosen geprüftes Verfahren ist der Einsatz von Grünguthäcksel, d. h. frisch gehäckselter und abgesiebter Heckenschnitt mit einem möglichst hohen Anteil an Nadelhölzern. Grünguthäcksel ist das Ausgangsmaterial für die Herstellung von Grüngutkompost und kann somit über die Kompostwerke bezogen werden. Grünguthäcksel enthält wachstumshemmende Stoffe, wie Gerbsäuren und phenolische Verbindungen, die die Keimfähigkeit von Unkrautsamen reduzieren können. Ausgebracht wird der Grünguthäcksel mit

Kompost- oder Miststreuern in einer Menge von 200-450 dt ha⁻¹ vor der Aussaat. Die von Lux *et al.* (2013) durchgeführten Versuche zeigen eine deutlich, zum Teil signifikante Reduzierung der Unkrautbiomasse, vor allem annueller Samenunkräuter. In Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus wurde nachgewiesen, dass Nadelhölzer eine stärkere negative Wirkung auf das Wachstum der Referenzfrucht Kresse aufwiesen als Laubhölzer. Dieses Verfahren hat sich vor allem bei großkörnigen Leguminosen wie Ackerbohnen und Erbsen mit tieferer Ablage und hypogäischer Keimung hinsichtlich der Reduzierung der Unkrautbiomasse bewährt.

Der Einsatz von Grünguthäcksel ist gleichzeitig eine organische Düngung mit der Möglichkeit der Rezyklierung von Nährstoffen und kann den Anteil an organischer Substanz im Boden erhöhen sowie die Bodenstruktur verbessern. Die oberflächennahe Ausbringung bzw. Einarbeitung reduziert zudem die Verschlämmungsneigung der Bodenoberfläche.

Prädatoren

In den letzten Jahren wurden ebenfalls vermehrt Untersuchungen zu Leistungen von Prädatoren und deren Beitrag zur Reduzierung von Unkrautsamen durchgeführt. Diese können sich im Rahmen von 50 – 90 % bewegen (HEGGENSTALLER *et al.*, 2006; JONASON *et al.*, 2013), sodass Prädatoren in erheblichem Maße zu einer Reduzierung des Eintrages in die Samenbank beitragen und somit ein wichtiges Element der vorbeugenden Unkrautregulierung darstellen können. Jedoch gibt es deutliche regionale Unterschiede als auch Unterschiede in den Leistungen der Vertebraten und Invertebraten. So wurden für Regionen in Norddeutschland deutlich geringere Samenverluste festgestellt (BARAIBAR *et al.*, 2012). Bislang sind die Kenntnisse noch nicht ausreichend, um eindeutige Faktoren zu benennen und somit nutzbringend einzusetzen, die zu einer Erhöhung der Samenfraßrate beitragen. Die Bewirtschaftungsform, d. h. ökologische versus konventionelle Bewirtschaftung hatte nach Untersuchungen von DAEDLOW *et al.* (2012) sowie JONASON *et al.* (2013) keinen deutlichen Einfluss. JONASON *et al.* (2013), die speziell Laufkäfer auf ökologisch und konventionellen Betriebsflächen untersuchten, stellten fest, dass die Bewirtschaftungsform einen geringeren Einfluss auf die Laufkäfervielfalt und ihr Vorkommen hat als die Landschaftsgestaltung. Sie konnten einige von der Landschaftsgestaltung abhängige Faktoren identifizieren. Höhere Samenfraßraten wurden in Landschaften mit einem hohen Anteil von einjährigen Kulturen verbunden mit einem hohen Artenreichtum von Laufkäfern, bei gleichzeitig geringerem Evenness-Wert festgestellt. Gleichzeitig wird jedoch auch diskutiert inwieweit ausgeräumte und verarmte Landschaften für die geringen Dichten an Prädatoren verantwortlich sind. Die bisherigen Ergebnisse belegen, dass Prädatoren einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung des Samenpotentials beitragen können. Jedoch sind die Faktoren, die zur Erhöhung und zur Stabilisierung dieser Leistungen beitragen noch nicht ausreichend geklärt.

Verfahren zur direkten nichtchemischen Unkrautregulierung

Nach der guten fachlichen Praxis ist die mechanische Unkrautbekämpfung mittels Striegel, Hacke und anderen Techniken eine wichtige nichtchemische Pflanzenschutzmaßnahme. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 10 – 20 % der Maßnahmen zur Unkrautregulierung mittels mechanischer Verfahren erfolgen kann (BMELV, 2010).

Die Verfahren zur direkten nichtchemischen Unkrautregulierung können generell in ganzflächig arbeitende, zwischen den Reihen wirkende und in die Reihe hinein wirkende Verfahren untergliedert werden. Als ganzflächig arbeitende Geräte sind vor allem die Unkrauttriegel zu nennen, die in fast allen Kulturen im Voraufbau und, je nach Entwicklungsstadium der Pflanzen, im Nachaufbau einzusetzen sind. Der Wirkungsgrad ist dabei abhängig von Bodenart und -zustand, der Witterung, dem Unkrautdruck sowie dem Entwicklungsstadium der Unkräuter. Die höchsten Wirkungsgrade werden erzielt, wenn sich die Unkräuter im Fädchenstadium befinden. Dann werden sie am leichtesten aus dem Boden herausgezogen, und der Austrocknungs- sowie der Verschüttungseffekt sind am höchsten. Untersuchungen zeigen Wirkungsgrade zwischen 30 und 70 %. Eine neue Entwicklung in den letzten Jahren war der Striegel der Fa. Treffler, der durch eine

neue Zinkenaufhängung einen besseren Ausgleich von Bodenebenenheiten ermöglicht als auch in Dammkulturen wie Kartoffeln gut eingesetzt werden kann. Striegel können auch zur Bekämpfung der Rauhaarigen Wicke (*Vicia hirsuta*) eingesetzt werden, wobei der Striegel hierzu ab EC31 (Schossen) bis nach dem Ährenschieben (EC61) eingesetzt wird. Die Wirkung beruht dabei weniger auf der Reduzierung der Dichte sondern in der Störung des Wachstums, wodurch vor allem die Samenproduktion um bis zu 75 % reduziert wurde (LUKASHYK *et al.*, 2005).

Die angebotenen Geräte, deren Werkzeuge zwischen den Reihen arbeiten, sind inzwischen sehr vielfältig und reichen von Scharhacken, Bügelhacken, Flachhäuflern sowie Sternrollhacken bis hin zu Werkzeugen, die eine exakte Bearbeitung des Flankenbereiches von Dammkulturen wie Kartoffeln ermöglichen. Hinzu kommen Entwicklungen der automatisierten Steuerung mittels Kameras, die eine sehr exakte Arbeitsweise ermöglichen. Zusätzlich kann die Arbeitsgenauigkeit durch GPS-gesteuerte Aussaattechniken noch verbessert werden.

Geräte, deren Werkzeuge in die Reihe hineinarbeiten, sind bislang noch selten. Hier ist vor allem die Fingerhacke zu nennen. Die beiden an den drehbar gelagerten Scheiben angebrachten fingerartigen Zinken aus Kunststoff greifen dabei seitlich in die Pflanzenreihen hinein. Unkräuter können so in der Pflanzenreihe herausgezogen und verschüttet werden. Einsetzbar sind diese Geräte in Kulturen mit Reihenabständen ab 25 cm, sodass sie überwiegend im Gemüsebau aber auch im Mais- und Sojaanbau zum Einsatz kommen. Eine Kombination mit z. B. Scharhacken oder Striegel ist möglich. Untersuchungen von HILTBRUNNER *et al.* (2012) in Soja zeigten, dass die Kombination der Fingerhacke und Striegel mit einer um 60 % reduzierten Unkrautdeckung des direkt in der Sojareihe etablierten Modellunkrautes *Phacelia tanacetifolia* L. die beste Wirkung als auch einen signifikant höheren Ertrag gegenüber der Kontrollvariante aufwies. Dies verdeutlicht die gute Arbeitsweise der Geräteentwicklungen, die auch in die Kulturpflanzenreihe hinein arbeiten.

Noch relativ neu am Markt sind Geräte, die auf Basis von Digitalvideokameras sowie entsprechender Auswertungssoftware mit Positionsbestimmung der Pflanzen ein Hacken in der Reihe ermöglichen. Der Abstand zwischen den Pflanzen in der Reihe muss je nach System mindestens 5 oder 16 cm betragen, sodass die Geräte vor allem im Gemüseanbau eingesetzt werden. Die Entwicklungen verdeutlichen jedoch das enorme Potential, das sich durch die GPS-Technik und den Fortschritten in der Computertechnologie ergibt und bei Weitem noch nicht ausgeschöpft ist.

Auch eine Kombination mechanischer mit chemischen Verfahren trägt zu einer Reduzierung des Herbizideinsatzes bei. Dies umfasst sowohl die Kombination von einem ganzflächigen Einsatz des Striegels mit nachfolgendem Herbizideinsatz als auch die Kombination von Bandspritzung und mechanischer Unkrautregulierung zwischen den Reihen. Diese Verfahren sind in ihrer Effizienz vergleichbar zu ganzflächig ausgebrachten Herbiziden. In der Praxis sind diese Verfahren jedoch bislang wenig verbreitet und ihre Potentiale oft nicht ausgeschöpft, weil es an Kenntnissen und Anpassungen der Gerätetechnik und der Anbauverfahren fehlt (HOMMEL, 2012).

Literatur

- ALTIERI, M.A., 1999: The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* **74**, 19-31.
- BAGHESTANI, A., C. LEMIEUX, G.D. LEROUX, R. BAZIRAMAKENGA und R.R. SIMARD, 1999: Determination of allelochemicals in spring cereal cultivars of different competitiveness. *Weed Science* **47**, 498-504.
- BARAIBAR, B., D. DAEDLOW, F. DE MOL und B. GEROWITT, 2012: Density dependence of weed seed predation by invertebrates and vertebrates in winter wheat. *Weed Research* **52**, 79-87.
- BEDOUSSAC, L., 2009: Analyse du fonctionnement des performances des associations blé dur-pois d'hiver et blé dur-féverole d'hiver pour la conception d'itinéraires techniques adaptés à différents objectifs de production en systèmes bas-intrants. Dissertation, Universität Toulouse.
- BLACKSHAW, R.E., R.L. ANDERSSON und D. LEMERLE, 2007: Chapter 3: Cultural weed management, In: M. K. UPADHYAYA, R. E. BLACKSHAW, (eds) *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, 35-48. CAB International, Wallingford, UK.
- BMELV, 2005: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2005.
- BMELV, 2010 Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz - Grundsätze für die Durchführung. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 68 pp.

- BMELV, 2012: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2005
- BMELV, 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
- BÖHM, H., H.M. PAULSEN, J. FISCHER, J.H. MOOS und G. RAHMANN, 2014: Nutrients and weeds through 13 years of organic farming. Beitr. Danish Crop Production Conference 2014 (in press).
- BÖHM H., 2013: Anbau der Saatwicke (*Vicia sativa* L.) im Gemenge mit Hafer - eine Alternative in der Körnerleguminosenproduktion? Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. **25**, 80-81.
- BRANDSAETER, L.O., A.K. BAKKEN, K. MANGERUD, H. RILEY, R. ELTUN und H. FYKSE, 2011: Effects of tractor weight, wheel placement and depth of ploughing on the infestation of perennial weeds in organically farmed cereals. Eur. J. Agron. **34**, 239-246.
- BRUST, J., R. GERHARDS, T. KARANISA, L. RUFF und A. KIPP, 2011: Why Undersown and Cover Crops Become Important Again for weed Suppression in European Cropping Systems. Gesunde Pflanze **63(4)**, 191-198.
- BURGER, H., M. SCHLOEN, W. SCHMIDT und H.H. GEIGER, 2008: Quantitative genetic studies on breeding maize for adaptation to organic farming. Euphytica **163**, 501-510.
- CHAUHAN, B.S., R.G. SINGH und G. MAHAJAN, 2012: Ecology and management of weeds under conservation agriculture: A review. Crop Prot. **38**, 57-65.
- CORRE-HELLOU, G., A. DIBET, H. HAUGGAARD-NIELSEN, Y. CROZAT, M. GOODING, P. AMBUS, C. DAHLMANN, P. VON FRAGSTEIN, A. PRISTERI, M. MONTI und E. JENSEN, 2011: The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. Field Crops Research **122**, 264-272.
- DAEDLOW, D., T. SOMMER und P.R. WESTERMAN, 2012: Weed seed predation in organic and conventional cereal fields. Julius-Kühn-Archiv **434**, 265-271.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ, M. SCHULTE und B. GEROWITT, 2012: Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management - Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002-2004. Julius-Kühn-Archiv **434**, 655-662.
- DITTMANN, B., 2012: Abschließende Ergebnisse zur Wirkung von langjährig pflugloser Bodenbearbeitung auf die Verunkrautung in der ökologischen Fruchtfolge Güterfelde. Julius-Kühn-Archiv **434(2)**, 708-711.
- DREWS, S., D. NEUHOF und U. KÖPKE, 2009: Weed suppression ability of three winter wheat varieties at different row spacing under organic farming conditions. Weed Research **49**, 526-533.
- EISELE, J.-A., 1992: Sortenwahl bei Winterweizen im Organischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung der morphologisch bedingten Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern. Dissertation Universität Bonn.
- FREIER B., J. SELLMANN, J. STRASSEMEYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, E. MOLL, V. GUTSCHE und W. ZORNACH, 2012: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2011 - Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2011, Heft **166**. Julius Kühn-Institut, Kleinmachnow.
- GRONLE, A. und H. BÖHM, 2014: Untersuchungen zur Unkrautkonkurrenz in Rein- und Mischfruchtbeständen von Wintererbsen unterschiedlichen Wuchstyps. Julius-Kühn-Archiv **443**.
- GRONLE, A., H. BÖHM und J. HEB, 2013: Effect of intercropping winter peas of differing leaf type on the weed infestation in deep and shallow ploughed soils and on pea pests. Landbauforschung **63(4)**, in press.
- GRONLE, A. und H. BÖHM, 2012: Kann ein Mischfruchtanbau von Erbsen und Getreide bei flachwendender Bearbeitung das im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung vorhandene höhere Unkrautauftreten im Ökologischen Landbau kompensieren? Julius-Kühn-Archiv **434**, 243-249.
- GRUBER, S. und W. CLAUPEIN, 2009: Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. Soil Till. Res. **105**, 104-111.
- GUMMERT, A., E. LADEWIG und B. MÄRLÄNDER, 2012: Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau: Aspekte der Unkrautregulierung. Julius-Kühn-Archiv **434(1)**, 345-352.
- HANZLIK, K., B. GEROWITT und A. SCHÖNHAMMER, 2012: Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf das Auftreten von *Geranium* spp. im Wintergras. Julius-Kühn-Archiv **434(2)**, 663-669.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS und E.S. JENSEN, 2001: Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. Field Crops Research **70**, 101-109.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., B. JORNSGAARD, J. KINANE und E.S. JENSEN, 2008: Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. Renewable Agriculture and Food Systems **23**, 3-12.
- HEGGENSTALLER, A.H., F.D. MENALLED, M. LIEBMAN und P.R. WESTERMAN, 2006: Seasonal patterns in post-dispersal seed predation of *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi* in three cropping systems. J. Appl. Ecol. **43**, 999-1010.
- HILTBRUNNER, J., C. LUGINBÜHL, U. BUCHMANN, C. HERZOG, H. HUNZIKER und C. SCHERRER, 2012: Mechanical control of weeds within the crop row of organically grown soybeans. Julius-Kühn-Archiv **434**, 251-256.
- HOMMEL, B., 2012: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln: Bericht 2008 bis 2011, In: J. Kühn-Institut, (ed.) Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, Vol. 165.
- JONASON, D., H.G. SMITH, J. BENGTSSON und K. BIRKHOFER, 2013: Landscape simplification promotes weed seed predation by carabid beetles (Coleoptera: Carabidae). Landscape Ecol. **28**, 487-494.
- KIMPEL-FREUND, H., K. SCHMIDTKE und R. RAUBER, 1998: Einfluss von Erbsen (*Pisum sativum* L.) mit unterschiedlichen morphologischen Merkmalen in Reinsaat und Gemenge mit Hafer (*Avena sativa* L.) auf die Konkurrenz gegenüber Unkräutern. Pflanzenbauwissenschaften **2**, 25-36.
- KLINGENHAGEN, G., M. WIRTH, B. WIEMANN und H. AHAUS, 2012: Occurrence of horse nettle (*Solanum carolinense* L.) in North Rhine-Westphalia. Julius-Kühn-Archiv **434(2)**, 601-604.

- LANDSCHREIBER, M., C. SCHLEICH-SAIDFAR und U. HENNE, 2012: Entwicklung nachhaltiger Methoden zur Ackerwuchsschwanzbekämpfung. *Julius-Kühn-Archiv* **438**, 322.
- LEMERLE, D., B. VERBEEK, R.D. COUSENS und N.E. COOMBES, 1996: The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research* **36**, 505-513.
- LIEBMAN, M. und E. DYCK, 1993: Crop-Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecol. Appl.* **3**, 92-122.
- LUKASHYK, P., M. BERG und U. KÖPKE, 2005: Einsatz des Striegels zur Regulierung von *Vicia hirsuta* in Winterweizen. In: HEB, J., G. RAHMANN (HRSG.): Beitr. 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 281-284.
- LUKASHYK, P., M. BERG und U. KÖPKE, 2008: Strategies to control Canada thistle (*Cirsium arvense*) under organic farming conditions. *Renew Agr. Food Syst.* **23**, 13-18.
- LUX, G., F. PÖTZSCH und K. SCHMIDTKE, 2013: Regulierung annueller Samenunkräuter durch den Einsatz von Grünguthäcksel unter Bedingungen des ökologischen Landbaus. In: NEUHOFF, D., et al. (EDS) Beitr. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, pp 312-315.
- MELANDER, B., N. MUNIER-JOLAIN, R. CHARLES, J. WIRTH, J. SCHWARZ, R. VAN DER WEIDE, L. BONIN, P.K. JENSEN und P. KUDSK, 2013: European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops. *Weed Technol.* **27**, 231-240.
- MESSMER, M.M., H. BURGER, W. SCHMIDT und H.H. GEIGER, 2010: Importance of appropriate selection environments for breeding maize adapted to organic farming systems. 60. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2009, 1 – 3.
- MURRAY, G.A. und J.B. SWENSEN, 1985: Seed Yield of Austrian Winter Field Peas Intercropped with Winter Cereals. *Agronomy Journal* **77**, 913-916.
- NEUMANN, A., K. SCHMIDTKE und R. RAUBER, 2007: Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research* **100**, 285-293.
- OLESEN, J.E., E.M. HANSEN, M. ASKEGAARD und I.A. RASMUSSEN, 2007: The value of catch crops and organic manures for spring barley in organic arable farming. *Field Crops Research* **100**, 168-178.
- PATRIQUIN, D.G., D. BAINES, J. LEWIS und A. MACDOUGALL, 1988: Aphid infestation of faba beans on an organic farm in relation to weeds, intercrops and added nitrogen. *Agr. Ecosyst. Environ.* **20**, 279-288.
- PRICE A.J., D.W. REEVES und M.G. PATTERSON, 2006: Evaluation of weed control provided by three winter cereals in conservation-tillage soybean. *Renew. Agr. Food Syst.* **21**(3), 159-164.
- PFAFF, A., D. GLOGER, B. WEDEMEYER-KREMER, H. BECKER und B. HORNEBURG, 2012: Soja Beikrauttoleranz – Saat im Gemenge mit „künstlichen Beikräutern“. Vortrag Sojatag 2012 in Frankfurt/Main. www.sojainfo.de/fileadmin/soja/documents/-Sojatag_2012/soja_sojatag2012_homeburg_kaeltetoleranz.pdf [Letzter Abruf: 20.12.2013].
- SCHMIDT, H. und G. LEITHOLD, 2005: Ökologischer Ackerbauversuch Gladbacherhof - Effekte von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung in der ersten Rotation, In: J. HEB, G. RAHMANN, (eds.) Beitr. 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 255-258. kassel university press GmbH, Kassel.
- SCHMIDTKE, K., B. WUNDERLICH und A. MEYERORDT, 2013: Lassen sich Winterweizensorten hinsichtlich ihres Beschattungsvermögens statistisch gesichert in Landessortenversuchen voneinander unterscheiden? Beitr. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 184-187.
- SCHULZ, F., 2012: Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung, Dissertation, Justus-Liebig-Universität, Gießen.
- SCHWARZ, J. und E. MOLL, 2010: Entwicklung der Verunkrautung in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Herbizidintensität. *Journal für Kulturpflanzen* **62**, 317-325.
- SCHWARZ, J., B. PALLUTT und E. MOLL, 2012: Einfluss von Fruchtfolge und Herbizidaufwandmenge auf die Verunkrautung. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 337-344.
- SEIDENGLANZ, M., I. HUNADY, J. POSLUSNA und A.K. LOES, 2011: Influence of intercropping with spring cereals on the occurrence of pea aphids (*Acyrtosiphon pisum* Harris, 1776) and their natural enemies in field pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Protection Science* **47**, 25-36.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013: Bei der Bodenbearbeitung dominiert der Pflug. www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Produktionsmethoden/AktuellBodenbearbeitung.html [letzter Abruf am 20.12.2013]
- STEINMANN, H.-H. und E.S. DOBERS, 2013: Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications for plant health and crop protection. *J. Plant Diseases and Protection* **120**, 85-94.
- URBATZKA, P., R. GRAß, T. HAASE, C. SCHÜLER, D. TRAUTZ und J. HEB, 2011: Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Org. Agr.* **1**, 187-202.
- VERSCHWELE, A., 2014: Potenziale von Sorteneigenschaften zur Integrierten Unkrautbekämpfung in Weizen. *Julius-Kühn-Archiv*, **443**.

Reduced herbicide rates: present and future

Reduzierter Herbizidaufwand: heute und zukünftig

Per Kudsk

Department of Agroecology, Aarhus University, Flakkebjerg, DK-4200 Slagelse, Denmark
per.kudsk@agrsci.dk



DOI 10.5073/jka.2014.443.003

Abstract

Applying herbicides at rates lower than the label recommendation has been the rule rather than the exception in Denmark since the late 1980's. Justifications for reducing herbicide rates can be 1) that the dominant weed species in the field are very susceptible to the herbicide, i.e. even reduced rates will result in maximum effects, 2) that the conditions at and around the time of application, e.g. growth stage of weeds, crop vigour and climatic condition are optimum promoting the activity of the herbicide and thus allows for the use of reduced herbicides rates, or 3) that less than maximum effects are accepted because the weed flora is not considered to have a significant effect on crop yield. "Crop Protection Online-Weed" (CPO-Weed) is a web-based decision support system that was developed to support farmers in their choice of herbicide and herbicide rate. CPO-Weed will, based on information on crop development and status and the composition of the weed flora, provide farmers with a list of herbicide solutions often recommending the use of reduced rates. The potential of CPO-Weed to reduced herbicide input has been proven in numerous validation trials. In recent years the use of reduced herbicide rates has been linked to the increasing number of cases of non-target resistance in outcrossing grass weed species like *Alopecurus myosuroides* and *Lolium* ssp. The underlying hypothesis is that the least susceptible individuals in the population will survive the use of reduced rates and that recombination will lead to a gradual increase in the resistance level in the weed population. This scenario is only valid if the use of reduced herbicide rates is prompted by acceptance of a lower effect but not if a high susceptibility of the weed species present in the field or optimum conditions are the reasons for reducing herbicide rates. This is an aspect that is often overlooked in the on-going discussion on herbicide rates and resistance. Large weed population increases the risk of selecting resistant weed biotypes because the likelihood that resistant plants are present in the population increases with population size. Preventing the build-up of large weed populations is a key objective in integrated pest management (IPM). If the use of herbicide is combined with non-chemical weed control methods the risk of resistance will be reduced further, i.e. in an IPM scenario the use of reduced herbicides rates will be less likely to promote herbicide resistance even if it is triggered by an acceptance of lower effects.

Keywords: Crop Protection Online, dose response curve, herbicide rate, herbicide resistance, integrated pest management, IPM

Zusammenfassung

Seit den späten 1980-er Jahren ist in Dänemark die Anwendung von Herbiziden mit geringeren Aufwandmengen als bei der Zulassung vorgesehen eher die Regel als die Ausnahme. Den Aufwand herabzusetzen kann begründet sein, indem 1) die dominierenden Unkrautarten gegenüber dem Herbizid sehr empfindlich sind, d. h., dass selbst mit verminderten Aufwandmengen eine vollständige Wirkung erreicht werden kann, 2) die Bedingungen zum Anwendungszeitpunkt, z. B. das Entwicklungsstadium der Unkräuter, die Entwicklung der Kultur und die Witterung für die Herbizidwirkung günstig sind und daher verringerte Aufwandmengen erlauben, oder 3) weil angenommen werden kann, dass die Verunkrautung keine signifikante Auswirkung auf den Ertrag haben wird.

"Crop Protection Online-Weed" (CPO-Weed) ist ein Internet-basiertes Beratungs-System, das dem Landwirt bei der Auswahl des Herbizids und der Aufwandmenge helfen soll. CPO-Weed wird aufgrund der Informationen über den Entwicklungsstand der Kulturpflanzen und der Zusammensetzung der Verunkrautung dem Landwirt eine Liste von Herbiziden, oft reduzierten Aufwand empfehlend, liefern. Das Potential von CPO-Weed hinsichtlich reduzierten Herbizidaufwands ist in zahlreichen Wirksamkeitsversuchen nachgewiesen worden. In letzter Zeit ist die Anwendung reduzierter Herbizidmengen mit den zunehmenden Fällen von Resistenz bei zum Outbreeding neigenden Unkrautarten wie *Alopecurus myosuroides* und *Lolium* ssp. in Verbindung gebracht worden. Die Hypothese ist, dass die am wenigsten empfindlichen Individuen der Population den reduzierten Herbizidaufwand überleben und allmählich das Resistenzniveau der Unkrautpopulation ansteigen lassen. Dieses Szenario trifft nur zu, wenn eine verringerte Herbizidmenge eine geringere Wirkung erzielt, aber nicht, wenn die hohe Empfindlichkeit einer vorkommenden Unkrautart oder optimale

Anwendungsbedingungen die Herabsetzung des Herbizidaufwands begründeten. Das ist ein Gesichtspunkt, der in der laufenden Diskussion über reduzierten Herbizidaufwand und Resistenz oft übersehen wird. Große Unkrautpopulationen erhöhen die Gefahr, resistente Biotypen zu selektieren, denn die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens resistenter Pflanzen wächst mit der Populationsgröße. Die Entwicklung starker Verunkrautung zu verhindern ist ein Hauptanliegen des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS). Wenn die Anwendung von Herbiziden mit nichtchemischen Methoden der Unkrautbekämpfung kombiniert wird, kann die Resistenz-Gefahr weiter herabgesetzt werden, d. h., im Rahmen des IPS ist es weniger wahrscheinlich, dass reduzierte Herbizid-Aufwandmengen Herbizidresistenz fördern, auch wenn dabei geringere Wirkungen hingenommen werden.

Stichwörter: Crop Protection Online, Dosis-Wirkungskurve, Herbizidaufwand, Herbizidresistenz, Integrierter Pflanzenschutz, IPS

Introduction

In 1986 the first pesticide action plan, calling for a 50% reduction in pesticide use expressed as the Treatment Frequency Index (TFI), was passed by the Danish Parliament. Denmark was the first EU country to adopt a pesticide action plan but soon after followed by The Netherlands and Sweden. The pesticide action plan of 1986 was the first of in total four action plans all with the aim of reducing pesticide use. Recently a fifth pesticide action plan was launched entitled "*Protect Water, Environment and Health*" in which the overall objective has been redefined, in accordance with EU Directive 2009/128, in order to reduce adverse effects on health and environment rather than the pesticide use *per se*. As a result the TFI has been replaced by a new indicator, the Pesticide Load Indicator (PLI).

In practice pesticide use can be reduced either by 1) replacing pesticides by non-chemical control measures, 2) reducing the number of applications, or 3) reducing the pesticide rate. The majority of the conventional farmers are not prepared for complete giving up the use of herbicides and run the risk of yield losses and seed shedding that could lead to a build-up of the soil seed bank. Thus, farmers have so far mainly made use of the last option namely reducing the rates. As a result the herbicide rates applied by Danish farmers are typically lower than the label recommendations. The widespread use of reduced rates has been supported by research and demonstration trials involving research institutes and the farmers' union advisory service. Research has focused on adjusting herbicide rates to the prevailing conditions, i.e. herbicide rates are optimized rather than just reduced.

The interest in reduced herbicide rates was stimulated by the pesticide action plans but actually the interest of Danish farmers in reduced herbicide rates date back to the 1970's. Herbicide trials in spring barley revealed that effective weed control could often be achieved with 25 to 50% of the label recommendation. Back then only few farmers adopted the concept of reduced rates but this changed significantly during the 1980's.

This paper will firstly discuss herbicide rates and variability in herbicide performance. Hereafter the parameters to be considered when optimizing herbicide use will be outlined. Finally the paper will focus on optimized herbicide rates in the context of integrated pest management (IPM).

Herbicide rate and variability in performance

Studying results from herbicide experiments it is obvious that variability in performance is inversely correlated to efficacy, i.e. the lower the efficacy the more variable the effect. In contrast, variability in performance is not always correlated to herbicide rate as rate and efficacy are not necessarily correlated. This can be easily understood by looking at the shape of a dose response curve (Fig. 1). The example in Figure 1 is generated using the widely adopted log-logistic dose response (RITZ, 2010). Due to the asymptotic properties, an increase or decrease in herbicide rate at very high or very low rates will only have a marginal effect on efficacy and variability. In contrast, on the linear part of the dose response curve even small changes in herbicide rate will have a pronounced effect on herbicide performance and consequently variability will be higher. The

example illustrates clearly that there exists no unequivocal relationship between reduction in herbicide rate and reduction in herbicide efficacy.

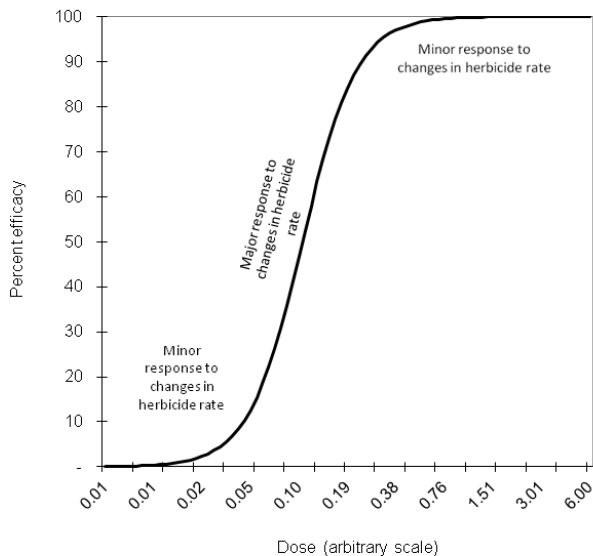


Fig. 1 A schematic dose-response curve.

Abb.1 Eine schematische Dosis-Wirkungskurve.

In practice it means that as long as the farmer is aiming at a high efficacy to reduce the rate this may not have any influence on variability in performance. On the contrary, if farmers are aiming at an efficacy lower than e.g. 85% variability becomes an issue and detailed knowledge about the influence of the variable parameters influencing herbicide performance becomes crucial. In the following section the most important parameters will be listed and their potential impact on herbicide performance will be shortly described.

Biotic and abiotic parameters influencing herbicide performance

Weed flora and growth stage

In contrast to disease and pest management, where often only one species is targeted at a time, in weed management one is nearly always targeting a population of species. Some weed species are more abundant than others and the lack of diversity in crop rotations in many fields has led to weed floras dominated by a few weed species but even in those fields more than just the dominating weed species will be present. It is well documented that the susceptibility of weed species to the herbicides varies profoundly. KUDSK (2002) reported that while application of 1/16 to 1/1 of the recommended rate of chlorsulfuron resulted in effects ranging from 38 to 96% on *Polygonum aviculare* L. the same rates produced effects ranging from 98 to 100% on *Veronica persica* L. A look at the dose-response data in the web-based decision support system “Crop Protection Online-Weed” (CPO-Weed), generated on basis of data from the official efficacy trials and data provided by the agrochemical companies, showed that 11 out of 56 weed species were controlled at 90% or higher with 50% of the maximum registered rate of tribenuron (KUDSK, 2014). For florasulam the corresponding figures were 12 out of 38. Since weed management implies control of a population of species with different susceptibility to herbicides, it is basically not

consistent with the term “minimum effective dose” as it is known from herbicide efficacy evaluations. Typically the “minimum effective dose” is the minimum herbicide rate required to control the least susceptible weed species but this rate is often significantly higher than the rate required to control the more susceptible weed species, as illustrated by the above-mentioned data.

From both a crop yield loss perspective as well as a long-term weed management perspective, different levels of control of the weed species in the field are required. Besides the potential of a weed species to multiply and increase its abundance in the field, long-term management aspects should also consider the risk of selecting for herbicide resistant biotypes.

Another parameter to consider is the growth stage of the weeds at the time of herbicide application. For residual herbicides the window of application is often very narrow whereas it may be very wide for foliage-applied herbicides. The susceptibility of annual weeds, however, tend to decrease with increasing growth stage with non-systemic foliage-applied herbicides (contact herbicides) being more affected by growth stage than systemic foliage-applied herbicides (KUDSK, 2014). Exceptions from this rule of thumb do exist. POWELL *et al.* (2002) found that the susceptibility of two grass weed species *Alopecurus myosuroides* and *Lolium perenne* was higher when the plants had developed 2 to 4 leaves compared to the 1-leaf stage. The erect growth habit of grass weeds at the young growth stages may explain this deviation from the general rule.

Crop competition

The competitive ability of the crop can be increased e.g. by selecting competitive cultivars or by increasing crop density. In a competitive crop total weed biomass is lower than in a less competitive crop. In practice this means that a lower effect is required to reduce weed biomass below the threshold level causing yield reduction allowing for the use of reduced herbicide rates. Whether weeds exposed to a competitive crop are inherently more susceptible to herbicides remains unknown.

Soil type

Soil texture and not at least soil organic matter content can have a significant effect on the efficacy of residual herbicides (PEDERSEN *et al.*, 1995). Attempts to correlate herbicide performance to soil properties and adjusting herbicide rates to soil type have generally been unsuccessful probably because other parameters and most notable soil moisture will also influence the herbicide performance. Another aspect to consider is that although a reduced herbicide rate applied to a soil with a low content of organic matter may result in the same effect on emerging weeds as a higher rate applied to a soil with a high content of organic content, the residual effect will be lower which could lead to a lower overall effect later in the growing season. Thus in practice it is very difficult to include soil type considering in what would be the appropriate herbicide rate.

Climatic conditions

Weather conditions before, during and after application have been shown to affect herbicide performance (e.g. KUDSK, 2001). Light, temperature and air humidity are the climatic parameters to consider deciding on the herbicide rate.

Although light conditions do affect the activity of some herbicides it is a parameter that is difficult to take into account when deciding on herbicide rate because light conditions can play a role both prior to application (e.g. on cuticle development), at the time of application (e.g. on photosynthesis) and after application (e.g. assimilate production and translocation). The same is true for temperature but as temperature does have a direct effect on the passive diffusion of herbicides across the cuticle (e.g. BAUR *et al.*, 1997) effects of temperature at the time of application are often more profound than those of light conditions. Impact of temperature on herbicide performance varies between herbicides with bentazone being an example of a herbicide benefitting from high temperatures around the time of application while the sulfonylurea herbicides are generally less affected by temperature (KUDSK, 2001).

High air humidity promotes the uptake of hydrophilic herbicides like glyphosate and salt formulations of phenoxy alkanic acid herbicides, while the activity of more lipophilic herbicides is generally unaffected by air humidity. In practice a better effect can be achieved if hydrophilic herbicides are applied during periods with high humidity like in the early morning.

Other parameters

Besides weed flora, growth stage of weeds and climatic conditions application technique, adjuvants and mixture with other pesticides may also influence the performance of a herbicide but the effects of these parameters are often herbicide specific and it is beyond the scope of this paper to discuss their influence on herbicide performance.

“Crop Protection Online” – a web-based decision support system compiling the available knowledge on herbicide performance

As a follow-up on the first pesticide action plan it was decided to initiate the development of a computer assisted decision support system that nowadays has become the web-based “Crop Protection Online” (RYDAHL, 1995). “Crop Protection Online” consists of two modules, one for weed management and one for disease and pest management. The two modules have evolved very differently since they were launched and in this presentation only the weed management module “Crop Protection Online-Weed” (CPO-Weed) will be covered.

CPO-Weed works as a three step model (RYDAHL, 2004). Firstly, the need for weed control is assessed based on evaluation of the economic impact of each of the weed species recorded in the field. In winter cereals, for example, competitive weed species like *Alopecurus myosuroides* and *Galium aparine* will be controlled irrespectively of their density while less competitive species such as *Veronica spp.* will only be controlled beyond a certain density. This part of CPO-Weed is based solely on expert knowledge and can be easily changed if new data suggest so.

Secondly, the level of control required is determined for each weed species. It depends on the weed species and its density. Competitive weed species will be controlled more effectively than less competitive species and the higher the density the higher the targeted level of control. The target levels of control are also largely based on expert knowledge and like the first step in CPO-Weed the values can easily be adjusted.

Finally the appropriate herbicide and herbicide rate is determined. This is possible because CPO-Weed contains information on the dose response curves of all registered herbicides on a wide range of weed species. The dose response curves were generated based on the data from official efficacy evaluation trials as well as data provided by the registration holders. The shape of the dose response curve is determined by the mode of action of the herbicide while the location on the x-axis (the dose axis) is determined by the weed species. Furthermore the dose-response curves are adjusted according to weed growth stage, weather conditions and crop cultivar. In CPO-Weed these adjustments are implemented as parallel displacements of the dose response curves.

CPO-Weed provides solutions not only for individual herbicides but also for herbicide mixtures. The composition of herbicide mixtures is calculated using the underlying principles of the Additive Dose Model (KUDSK, 1999). The composition of herbicide mixtures can be optimized according to either costs or TFI. In the future herbicide mixtures can also be optimized according to the new PLI. All potential herbicide solutions are listed and can be sorted according to either costs or TFI and in the future also to the PLI.

In summary, if CPO-Weed suggests the use of reduced herbicide rates it could be due to a high susceptibility of the weed species in the field, optimum conditions for applying the herbicide and/or a low target control level. For competitive weeds herbicide rate is primarily determined by the susceptibility of the weed species and the conditions at the time of application while susceptibility, conditions around application and a lower control level may explain low herbicide rates against less competitive weed species.

Field test of CPO-Weed have revealed a significant potential for reducing herbicide use compared to the current practice (JØRGENSEN and KUDSK, 2006). For more information on CPO-Weed see RYDAHL (2004) and SØNDERSKOV *et al.* (2013).

Potential long-term implications of reduced herbicide rates

Historically the dispute on reduced herbicide rates have centred on yield losses, problems at harvest and the risk of seed shedding from surviving weed plants and a gradual build-up of the soil seed bank. Recently, the discussion on reduced herbicide rates has focused more on the propensity of reduced herbicide rates to increase the rate of selection of resistant biotypes (e.g. NEVE and POWLES, 2005; RENTON *et al.*, 2011). High herbicide rates will select for major gene resistance (target site resistance) while low herbicide rates are assumed to select for quantitative inherited resistance mechanisms (minor gene resistance or non-target site resistance), a situation that has been described as a "Catch 22" by GRESSEL (1995). Enhanced metabolism, as it has been observed in several outcrossing grass weed species, is an example of what is believed to be a quantitative inherited non-target site resistance mechanism that could be promoted by the use of low herbicide rates. There is, however, still some controversy about the role of reduced rates in promoting non-target site resistance to herbicides as none of the studies has directly compared high and low rate selection in the field (NEVE *et al.*, 2014).

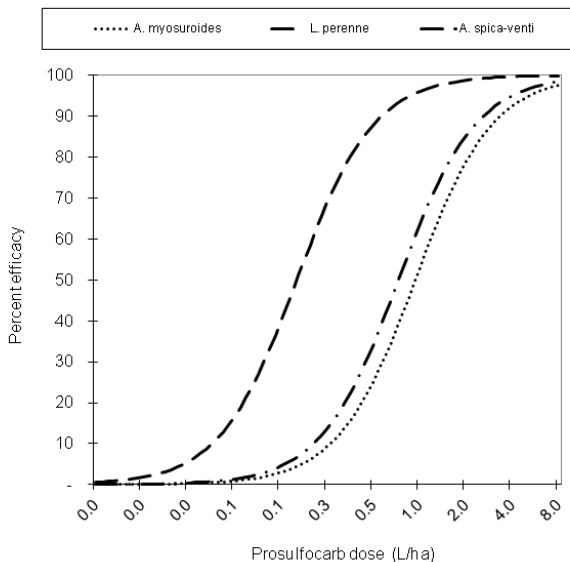


Fig. 2 Dose response curves from CPO-Weed for prosulfocarb on three grass weed species at the 0-2 leaf stage, minimum and maximum temperatures of 8 and 14 °C and no soil moisture stress.

Abb. 2 Dosis-Wirkungskurven nach CPO-Weed von Prosulfocarb für 3 Ungrasarten im 0- bis 2-Blatt-Stadium; Minimum- und Maximum-Temperatur 8 bzw. 14 °C und ohne Einfluss der Bodenfeuchte.

In the on-going discussion reduced herbicide rates are often considered to be synonymous with a reduced or sub-lethal effect. As highlighted in this article this is far from always the case because weed species differ markedly in their susceptibility to herbicides. Grass weed species like *A. myosuroides*, *Apera spica-venti* and *Lolium spp.* are very competitive weed species that require a high level of control to prevent yield losses. If reduced herbicide rates are recommended by CPO-Weed the cause is a high susceptibility to the herbicide, as it is illustrated in Figure 2. The reduced prosulfocarb rates that farmers are recommended to use against *A. spica-venti* are the result of the

high susceptibility of this weed species to prosulfocarb and not the acceptance of a low efficacy level. In contrast, the reduced herbicide rates recommended against many poorly competitive broadleaved weed species are often partly due to an acceptance among Danish farmers of a lower efficacy. Until now only one example of quantitative inherited resistance mechanisms has been reported in broadleaved weed species, thus the risk that reduced rates of herbicides will select for non-target site resistant biotypes of broadleaved weed species seems minor.

Integrated pest management and reduced herbicide rates

In 2011 EU Directive 2009/128/EC came into force. One of the objectives of the directive is to ensure the adoption of IPM by all professional users of pesticides by January 1, 2014, and to support this conversion eight IPM principles have been listed in the directive.

The most important of the eight IPM principles is #1 requiring farmers to prevent the build-up of large pest populations, e.g. by adopting a diverse crop rotation and implementing cultivation techniques that minimize problems with weeds and other crop pests. A diverse weed flora and a low weed density will allow for lower control levels and hence the use of reduced herbicide rates because higher survival rates can be tolerated compared to fields with high weed densities. Preventing the build-up of large weed populations is also one of the main tools to prevent resistance building up. Herbicides do not cause the mutations conferring resistance, their use merely favours the propagation of resistant plants in the population. As resistant plants are present at very low frequencies the chance that a resistant plant can be found altogether in a field depends very much on the weed density. The risk of herbicide resistance is therefore very much a numbers game and if the farmers keep the weed numbers low, as it is the intention with IPM, the risk that reduced herbicide rates will promote resistance will also be lower. As a matter of fact IPM principle #6 states that *"the professional user should keep the use of pesticides and other form of intervention to levels that are necessary, e.g. by reduced doses, reduced application frequency and partial applications, considering that the level of risk in vegetation is acceptable and they do not increase the risk of development of resistance in populations of harmful organisms"*, i.e. reduced rates are actually seen as one of the many IPM tools that farmers should adopt, which makes sense because of the lower risk for promoting resistance than in many of the current cropping systems. Further adding to a reduced risk of herbicide resistance in an IPM scenario is that herbicide use should be combined with non-chemical control measures.

References

- BAUR, P., A. BUCHHOLZ and J. SCHÖNHERR, 1997: Diffusion in plant cuticles as affected by temperature and size of organic solutes: similarity and diversity among species. *Plant Cell Env.* **20**, 982-994.
- GRESSEL, J., 1995. Creeping resistance: the outcome of using marginally effective or reduced rates of herbicides. *Brighton Crop Protection Conference-Weeds*, 587-592.
- JØRGENSEN, L. N. and P. KUDSK, 2006: Twenty years' experience with reduced agrochemical inputs: effect on farm economics, water quality, biodiversity and environment. In: *HGCA Conference: Arable crop protection in the balance: Profit and the environment*, 16.1-16.10.
- KUDSK, P., 1999: Optimising herbicide use – the driving force behind the development of the Danish decision support system. *Brighton Crop Protection Conference-Weeds 1999*, 737-746.
- KUDSK, P., 2001: How to investigate the influence of environmental factors on herbicide performance. *Brighton Crop Protection Conference-Weeds 2001*, 495-504.
- KUDSK, P., 2002: Optimising herbicide performance. In: *Weed Management Handbook*. R. E. L. NAYLOR, Oxford, UK, Blackwell Publishing, 323-344.
- NEVE, P. and S. B. POWLES, 2005: Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. *Theor. Appl. Genet.* **110**, 1154-1166.
- NEVE, P., R. BUSI, M. RENTON and M. M. VILA-AIUB, 2014. Expanding the co-evolutionary context of herbicide resistance research. *Pest. Manage. Sci.* (in press).
- PEDERSEN, H. J., P. KUDSK and A. HELWEG, 1995: Adsorption and ED₅₀ values on five soil-applied herbicides. *Pest Sci.* **44**, 131-136.
- RITZ, C., 2010: Towards a unified approach to dose-response modelling in ecotoxicology. *Env. Toxic. Chem.* **29**, 220-229.
- POWELL, E. S., J. H. ORSON, P. C. H. MILLER, P. KUDSK and S. K. MATHIASSEN: Defining the size of target for air induction nozzles. *Aspects of Applied Biology* **66**, *International Advances in Pesticide Application*, 65-72.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

- RENTON, M., A. DIGGLE, S. MANALIL and S. B. POWLES, 2011: Does cutting herbicide rates threaten the sustainability of weed management in cropping systems? *J. Theor. Biol.* **283**, 14-27.
- RYDAHL, P., 1995: Computer assisted decision making. In: *Proceedings EWRS Symposium Budapest 1995: Challenges for Weed Science in a Changing Europe*, 29-37.
- RYDAHL, P., 2004: A Danish decision support system for sustainable weed management. *Aspects of Applied Biology* **72**, *Advances in Applied Biology: providing new opportunities for consumers and producers in the 21st century*, 43-53.
- SØNDESKOV, M., P. KUDSK, S. K. MATHIASSEN, S. K. BØJER and P. RYDAHL, 2013: Decision Support System for optimized herbicide dose in spring barley. *Weed Technology* (in press).

Sektion 1: Herbizidresistenz – Methoden

Section 1: Herbicide resistance - methods

Framework for an expert evaluation for the evolution of weed resistance

Rahmen für eine Experten-Bewertung für die Entwicklung der Unkrautresistenz

William Vencill¹, Robert Nichols², Theodore Webster³ and Stephen Moss⁴

¹Department of Crop and Soil Sciences, University of Georgia, Athens, GA 30602, USA

²Cotton Incorporated, Cary NC 27513

³Crop Protection and Management Research Unit, USDA-ARS, Tifton, GA, 31794

⁴Rothamsted Research, Harpenden, Hertfordshire, UK, AL5 2JQ

*Corresponding author, wvencill@uga.edu



DOI 10.5073/jka.2014.443.004

Abstract

The apparent rate of evolution of resistance of weeds to herbicides has increased substantially over the past decade. Data suggests phenotypic expression is affected by the mechanism of action of the herbicide, the taxonomy of the weed, the extent and frequency of selection and the agronomic context of herbicide use that contribute to the development of herbicide resistance. The opportunities for herbicide resistance are maximized in weeds that produce prolific seed, have relatively short half-life in the seedbank, and are obligate outcrossers; for herbicides that have a single target site that is not conserved or have multiple non-target resistance mechanisms; and in management, those management systems that do not use a diverse set of weed management tools and rely only on herbicides for weed control. The ability to identify weed and herbicide combinations that are most likely to develop herbicide resistance can aid in education and management systems to delay herbicide resistance.

Keywords: Herbicide resistance, resistance management, resistance Index, integrated weed management

Zusammenfassung

Die Herbizidresistenz von Unkräutern hat in den letzten zehn Jahren deutlich zugenommen. Versuchsergebnisse weisen darauf hin, dass die Entwicklung der Herbizidresistenz von dem Wirkmechanismus der Herbizide, der Taxonomie der Unkräuter, dem Ausmaß der Selektion und den agronomischen Verhältnissen beeinflusst wird. Die Gefahr einer Herbizidresistenz nimmt bei Unkrautarten zu: mit hoher Samenproduktion, relativ niedriger Überlebensrate in der Bodensamenbank, obligater Auskreuzung, bei Unkräutern mit einem Zielort, mit einer Nichtzielort-Resistenz, einseitiger Unkrautbekämpfung. Es ist erforderlich Ursachen zu identifizieren, die die Herbizidresistenz fördern. Dies kann dazu beitragen durch Änderung von Managementsystemen die Entwicklung der Herbizidresistenz zu verzögern.

Stichwörter: Herbizidresistenz, Resistenzmanagement, Resistenzindex, integrierte Unkrautbekämpfung

Introduction

The number and diversity of herbicides available for use in agriculture has seen tremendous growth since the introduction of 2,4-D in the 1940's (APPLEBY, 2005). From the beginning of herbicide use on a large scale, concerns about the potential development of herbicide-resistant biotypes among agricultural weed populations have been expressed (APPLEBY, 2005). These fears were realized in 1968 when the first case of triazine resistance was confirmed (RYAN, 1970). Since that time, over 403 resistant weed biotypes have been reported within all major herbicide mechanisms of action (HEAP, 2013).

Many herbicides are registered for use in row crops; however herbicides are grouped by chemists and weed scientists into a relatively small number of classifications based on their mechanism of action, that is, by reference to the biochemical pathways that they disrupt in susceptible plants (ASHTON and CRAFTS, 1981). Frequently, herbicides with the same mechanism of action control approximately the same botanical families. Thus, whenever they are used in weed management

programs, they tend to exert selection against the same groups of weed species. Since the introduction of glyphosate-resistant cultivars in the mid-1990's, herbicide application patterns have changed dramatically. This has resulted in weed control programs with less diverse mechanisms of action and intensifying selection pressure for herbicide resistance, particularly glyphosate.

Herbicide resistance has become a critical issue to growers in the developed world such as North America, Europe and Australia. There have been no new herbicide mechanisms of action introduced since 1992 and multiple-resistant weeds are reducing the number of herbicides available to control some of the most common and troublesome weeds in certain cropping areas such as *Amaranthus* in North America, *Alopecurus* in Western Europe, and *Lolium* in Australia (VENCILL *et al.*, 2012). There are newer herbicide-resistant crop technologies being developed such as auxinic-resistant cotton and soybean. Under this scenario, it would be most beneficial to weed scientists and others to have a better understanding of what herbicide-weed-management scenarios; herbicide-resistant weeds are most likely to develop. This paper will present a framework for determining the potential for herbicide resistance development under given weed, herbicide, and management conditions.

Weed Factors

Many factors determine the success of a weed (e.g. competitiveness, emergence pattern, seed production potential etc.). For example, annual weeds develop resistance more quickly than biennial or perennial species because more generations experience selection over the same period. Perennial weeds, if predominantly vegetatively propagated, are much less likely to evolve resistance than annual weeds. The weed biology risk matrix described below is primarily for annual weeds, although it will also be relevant for perennial weed species if propagation by seeds is important.

Seedling emergence probably is the single most important phenological event that influences the success of an annual plant. In theory, a persistent seed bank of older, less selected seeds, could 'buffer', and hence reduce, the effect of selection for resistance (GRESSEL, 2009). However, due to limited knowledge of the interaction of seed bank dynamics and resistance, there are no documented cases of this occurring. In contrast, once resistance has evolved, species with more persistent seeds are likely to pose a *greater* threat due to long-term emergence of resistant plants from seeds in the seedbank because of a similar buffering effect.

Differing weed species have a wide range of seed production. In theory, a weed that set more seed would have a greater chance of developing herbicide resistance due to a greater number of genetic combinations that have the potential to produce an individual with a herbicide-resistance trait. Several common and troublesome weeds are displayed in Table 1. It shows that many of the weed species with the highest fecundity have the greatest number of herbicide resistant biotypes (e.g. *Amaranthus*, *Echinochloa*).

Genetic diversity is a key factor in the development of herbicide resistance. Genetically diverse species are more likely to contain individuals that already possess herbicide resistance. Weed species that ensure greater genetic diversity through obligate outcrossing tend to be some of the weeds with the greatest propensity for herbicide resistance development (Tab. 1).

Pollen and seed dispersal affect how widely an evolved trait of resistance can move once it has developed. The pollen for some weeds such as *Amaranthus palmeri* (Palmer amaranth) have been shown to move great distances allowing pollen carrying resistance genes to infest a greater geographic area (SOSNOSKIE *et al.*, 2009). Weeds such as horseweed (*Conyza canadensis*) that have wind-blown propagules can spread an evolved herbicide resistance trait over a large geographic distance (DAUER *et al.*, 2007).

Tab. 1 Biological characteristics of selected common and troublesome agronomic weed species (VENCILL, 2012).**Tab. 1** Biologische Eigenschaften von ausgewählten Unkrautarten (VENCILL, 2012).

Weed	Dioecious	Obligate outcrosser	Fecundity seed plant ⁻¹	Seedbank longevity yr	Resistance Cases #	Rank ^a
<i>Amaranthus palmeri</i>	Yes	No	1,000,000	3	25	3
<i>Amaranthus tuberculatus</i>	Yes	No	1,000,000	3	37	3
<i>Alopecurus myosuroides</i>	Yes	No	3000	1-2	26	3
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	No	No	6000	1	19	2
<i>Ambrosia trifida</i>	No	Weak	1400	4	18	2
<i>Avena fatua</i>	No	Yes	1000	3	39	2
<i>Chenopodium album</i>	No	Yes	72000	4	42	1
<i>Echinochloa crus-galli</i>	No	Yes	500000	5	31	3
<i>Ipomoea spp.</i>	No	Yes	1500	1	0	1
<i>Kochia scoparia</i>	No	Yes	4100	2	34	2
<i>Lolium rigidum</i>	Yes	No	2000	1-2	44	3
<i>Poa annua</i>	No	Yes	1000	2	21	3
<i>Senna obtusifolia</i>	No	Yes	200	>5	0	1
<i>Xanthium strumarium</i>	No	Yes	9000	2	17	2

^aRanking on a scale of 1-3 with one having the least risk and three the greatest risk of resistance development.

Annual weed species display a wide range of emergence patterns from those that emerge over a narrow time frame to those that have continuous germination over the season. Those weeds that germinate continuously over a season would develop herbicide resistance faster than those who do not due to a greater exposure of the weed seedbank over time to any given herbicide. In addition, and greater phenotypic diversity is present in weeds that germinate over the season.

Herbicide Factors

The herbicide factors that contribute to herbicide-resistance are related to herbicide use patterns, weed control spectrum, and interaction of the herbicide with the target site. Herbicides that provide a high level of control at recommended rates are likely to select for highly resistant individuals more effectively than herbicides with lower intrinsic activities, where a higher proportion of susceptible plants are likely to survive too (GRESSEL and SEGEL, 1990). The intrinsic activity of the herbicide may be more important to selection for target site resistance than for enhanced metabolism. For example, MANALIL *et al.* (2011) showed low herbicide doses increased non-target site resistance in *Lolium rigidum*.

Greater residual activity might, in theory, increase resistance risk by exposing successive flushes of emerging weeds to the herbicide. In practice, there is little evidence that this is of great importance. In situations where most weeds have emerged before application, this factor will not be relevant. Although two (ALS, triazines) herbicide classes in the high risk category in the figure above have residual activity, it is not proven that this is a significant factor in relation to resistance. Residual activity may have more relevance, where high rates of persistent herbicides may be used.

There are many factors required for a herbicide to successfully control a target weed. If foliar applied, it must be able to cross the plant cuticular barrier and be translocated to a cellular target site. If soil applied, it must be available in the soil solution in sufficient quantities to be taken up by roots and translocated to a cellular target site. Differences in crops and weeds and among weeds to the same herbicide can lead to selectivity or to the development of resistance in certain cases

such as glyphosate-resistant *Conyza* or *Lolium*. There are many ways herbicides interact with their primary target sites. Some herbicides are competitive inhibitors (they compete with the natural substrate at the target site for the herbicide). In these situations, changes to the target site that would lead to target site herbicide-resistant weeds are more difficult to develop as many of these target sites are highly conserved such that many of the changes to the target site that would reduce a given herbicide's binding would also reduce the binding of a natural substrate leading to a lethal mutation. For example, photosystem II inhibitors (triazines and substituted-ureas), EPSPS-inhibitors (glyphosate), glutamine-synthetase inhibitors (glufosinate), PPO-inhibitors (diphenyl ethers), phytoene-desaturase inhibitors (pyridazinone herbicides), and HPPD-inhibitors such as the triketone herbicides are competitive with the natural substrate for target site for the herbicide (VENCILL *et al.*, 2012). This was one of the reasons that weed scientists initially thought glyphosate-resistant weeds would be rare (SAMMONS *et al.*, 2007). However, glyphosate-resistance has developed through non-target site resistance mechanisms such as enhanced metabolism, sequestration, or amplified target site. However, we did not take fully into account the myriad of non-target site resistance mechanisms that could be selected for in a weed population. Other herbicides such as the ALS-inhibitors and ACC-ase inhibitors are not competitive inhibitors. For these herbicide target sites, a mutation to the target site leading to herbicide resistance is much less likely to be a lethal mutation. As a result, there are 18 possible amino acid substitutions with leading to ALS-resistance in weed species and six leading to ACC-ase resistant grass weeds (TRANELL and WRIGHT, 2002; DELYE, 2005).

Management Factors

Management is the one aspect of the weed-herbicide-management triangle where the grower can influence herbicide resistance development. A grower that is able to implement integrated weed management tools such as crop rotation, cultivation, cover crops, and optimal agronomic management will put less selection pressure for the evolution of herbicide-resistant weeds than the grower who relies solely on herbicides for weed control or even the grower who uses some herbicide-resistance management strategies such as rotating herbicide mechanisms of action but does not use non-herbicide management tools. Cultural control measures relevant to arable and horticultural crops include crop rotation, mechanical weed control, competitive seeding rates, optimal row spacing, and preventing seed return to the weed seedbank.

If the herbicide is likely to be used several times per year (e.g. intensively managed crops), the risk is likely to be higher than where it is used once annually (as in successive cereal crops). The risk is likely to be lower where the herbicide is used less than once per year. If the herbicide is used alone, then the risk is likely to be higher than if it is used in mixture or sequence with other herbicides with activity on the same target weed, as long as the alternative herbicides have different mechanism of action (DIGGLE *et al.*, 2003). When the herbicide is the only one available for controlling a specific weed, the resistance risk is likely to be higher than if many alternative mechanism of action available.

If other weed management tools are not used, the risk of herbicide resistance increases. For example, incidences of herbicide resistance increase in minimum-tillage and no-till systems due to greater herbicide use and/or more rapid weed seedbank turnover than is found in conventional tillage (BECKIE, 2009). Weed resistance was greater in low soil disturbance no-till systems (BECKIE *et al.*, 2008).

Cropping system diversity is a cornerstone of weed resistance management. The risk of herbicide resistance is greatest in monoculture fields. In western Canada, the risk is lowest in cropping systems that include forage crops (tillage required to terminate the crop), fallow, or have three or more crop types (BECKIE, 2009). Diversity in weed management tactics is the single most important tactic for reducing and managing the evolution of herbicide-resistant weeds. Overreliance on a single herbicide or single group of herbicides without concurrent utilization of other weed management strategies has encouraged evolution of weed populations resistant to the heavily used herbicide(s); but it is not the only factor. Characteristics of the herbicide and herbicide class,

weed biology, and cultural practices such as crop rotation, tillage practices, and time of planting all play a role in determining the likelihood and frequency of herbicide resistance. Resistance to herbicides is a function of 1) the frequency of herbicide use; 2) how the herbicide has been used; 3) the strong selection pressure that is characteristic of the herbicide(s), and 4) the resistance mechanism in the weed - that is, whether changes to the target site occur easily without affecting plant function (e.g. ALS), or whether the target site is highly conserved so that occurrence of target-site resistance is difficult because of the negative effects on the plant (TRANEL and WRIGHT, 2002).

Resistance Risk Framework

Table 2 contains a resistance risk classification table that lists a ranked risk of herbicide resistance development for a given matrix of herbicide site of action, weed, and general weed management strategy. Weeds were ranked on a scale of one to three (three exhibiting the greatest and one the least risk) based on the prevalence of resistance development for the weed species and/or genus. Herbicides were ranked on a scale of one to three based on the prevalence of weeds to develop resistance to a particular target site. Finally, three general weed management systems were considered in regards to their influence of herbicide resistance development. The three weed management systems included in the matrix on a scale of 0.75 to one with one having the highest risk of herbicide resistance development. The weed management systems ran from reliance on a single herbicide mechanism of action for weed control to a herbicide based system relying on rotation of herbicide mechanisms of action. The lowest risk weed management system (0.25) is an integrated weed management system that uses herbicide site of action rotation, crop rotation, mechanical weed control, and cultural weed control tools.

In the resistance risk matrix, any single cell is a product of the individual weed by herbicide by weed management risks. A higher matrix product indicates a greater risk of herbicide resistance development. For example, the use of an ALS-inhibitor for *A. palmeri* control without herbicide rotation or any integrated weed management would result in a score of nine, the highest possible. In this situation, the risk of resistance development is extremely high and a grower or one advising a grower should advise an immediate change in the weed control strategy or regulatory officials approving the approval of a herbicide for such a situation should mandate at minimum proper notices of the risk of herbicide resistance development or not approve the use in some instances. It could be argued in these cases, the evolution of resistance is inevitable if the herbicide is applied. For those scenarios with a matrix product of three to four, resistance can possibly be delayed for a considerable time period if intensive resistance management strategies are employed (e.g. integrated weed management). On the other end of the scale, any matrix product less than three should not greatly concern the grower or other interested parties in resistance development.

Tab. 2 Herbicide resistance risk framework.

Tab. 2 Risikoraahmen der Herbizidresistenz.

					Highest Risk (9)	
					Higher Risk (6)	
					Moderate Risk (3-4)	
					Low Risk (0.125-2.25)	
High – ALS, ACC, PS-II-T	3	3	6	9	1 (High)	Single Herbicide MOA
		1.5	3.0	4.5	0.5 (Moderate – Low)	MOA Rotation only
		0.75	1.5	2.25	0.25 (Low)	Integrated Pest Mgmt
Moderate – EPSP, Auxin, DNA, PS-I, PDS	2	2.0	4	6	1 (High)	Single Herbicide MOA
		1.0	2	3.0	0.5 (Moderate – Low)	MOA Rotation only
		0.5	1	1.5	0.25 (Low)	Integrated Pest Mgmt
Low – VLCFA, GS	1	0.5	1	3.0	1 (High)	Single Herbicide MOA
		0.25	0.5	1.5	0.5 (Moderate – Low)	MOA Rotation only
		0.125	0.25	0.75	0.25 (Low)	Integrated Pest Mgmt
		1	2	3		
		ELEIN, Senecio, SOLXX, Salsola, Poa, DIGXX	Avena, ECHCG, XANST, SORHA, SETXX	AMAXX, AMBXX, LOLXX, KOCXX, CHEAL, Conyza		

In conclusion, the development of herbicide resistance is the product of weed, herbicide, and management factors present in a given field. If provided with predictive tools, growers will be better able to make decisions to delay the development of herbicide resistance. It is the duty of weed scientists to provide predictive tools that allow growers to know if they have certain weeds present, that they will see fairly rapid herbicide resistance development if they do not use an intensive regime of integrated weed management to reduce the need for herbicide applications.

References

APPLEBY, A. P., 2005: A history of weed control in the US and Canada- a sequel. *Weed Sci.* **53**, 762-768.
 ASHTON, F. and A.S. CRAFTS, 1981: *Mode of Action of Herbicides*. New York: John Wiley and Sons.
 BECKIE, H.M., J.Y. LEESON, A.G. THOMAS, L.M. HALL and C.A. BRENZIL, 2008: Risk assessment of weed resistance in the Canadian Prairies. *Weed Technol.* **22**, 741-746.
 BECKIE, H.M., 2009: Herbicide resistance in weeds: Influence of farm practices. *Prairie Soils and Crops: 2* http://www.prairiesoilsandcrops.ca/display_article.html?id=28
 DAUER, J. T., D.A. MORTENSEN and M. J. VANGESSEL, 2007: Temporal and spatial dynamics of long-distance *Conyza canadensis* seed dispersal. *J. Appl. Ecol.* **44**, 105-114.

- DELYE, C., 2005: Weed resistance to acetyl-Coenzyme A carboxylase inhibitors: an update. *Weed Sci.* **53**, 728-746.
- DIGGLE, A. J., P. B. NEVE and E. P. SMITH, 2003: Herbicides used in combination can reduce the probability of herbicide resistance in finite weed populations. *Weed Res.* **43**, 371-382.
- GRESSEL, J. and L. A. SEGEL, 1990: Modelling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. *Weed Technol.* **4**, 186-198.
- GRESSEL, J., 2009: Evolving understanding of the evolution of herbicide resistance. *Pest Manag. Sci.* **65**, 1164-1173.
- HEAP, I., 2013: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. www.weedscience.com.
- MANALIL, S., R. BUSI, M. RENTON and S. B. POWLES, 2011: Rapid evolution of herbicide resistance by low herbicide dosages. *Weed Sci.* **59**, 210-217.
- RYAN, G.F., 1970: Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. *Weed Sci.* **18**, 614-616.
- SAMMONS, R. D., D. C. HEERING, N. DINICOLA, H. GLICK and G. A. ELMORE, 2007: Sustainability and stewardship of glyphosate and glyphosate-resistant crops. *Weed Technol.* **21**, 347-354.
- SOSNOSKIE, L.M., T.M. WEBSTER, D. DALES, G.C. RAINS, T.L. GREY and A.S. CULPEPPER, 2009: Pollen grain size, density, and settling velocity for Palmer amaranth. *Weed Sci.* **57**, 404-409.
- TRANEL, P. J. and T. R. WRIGHT, 2002: Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: What have we learned? *Weed Sci.* **50**, 700-712.
- VENCILL, W.K., R. L. NICHOLS, T. M. WEBSTER, J. K. SOTERES, C. MALLORY-SMITH, N. R. BURGOS, W. G. JOHNSON and M. R. MCCLELLAND, 2012: Herbicide Resistance: Toward an Understanding of Resistance Development and the Impact of Herbicide-Resistant Crops. *Weed Sci. Special Issue 2012*, **60**, No. sp1, pp. 2-30.

Degradation and metabolism of fenoxaprop-P-ethyl in sensitive and resistant populations of *Alopecurus myosuroides*

Abbau und Metabolismus von Fenoxaprop-P-ethyl in sensitiven und resistenten Populationen von *Alopecurus myosuroides*

Yasmin I. Kaiser* and Roland Gerhards

University of Hohenheim, Institute for Phytomedicine, Department of Weed Science, Stuttgart, Germany

*Corresponding author, yasmin.kaiser@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.005

Abstract

Blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) is one of the most economically important weeds in Europe. Because of the development and distribution of herbicide resistant populations the control of this weed has become a serious challenge in agriculture. In recent years a reduced efficacy of fenoxaprop-P-ethyl towards *A. myosuroides* has been observed. To investigate the degradation of the active substance fenoxaprop-P-ethyl in *A. myosuroides*, four populations were grown in the greenhouse: One herbicide sensitive population, two populations with a non-target-site resistance (NTSR) and one population with a target-site resistance (TSR). For dose response studies the plants were treated with different dosages of fenoxaprop-P-ethyl and dry weight was determined after three weeks. For the NTSR populations resistance factors of 76 and 2 could be calculated based on ED50 values. The development of the TSR plants was not restricted by the herbicide treatment, not even with the highest dosage.

For the degradation and metabolism studies plants were treated with fenoxaprop-P-ethyl and harvested for laboratory analysis 2, 8, 24, 48 and 96 hours after treatment. The active substance degraded within 96 hours without any significant differences between the populations. Two hours after herbicide treatment a metabolite could be identified and quantified in all populations. The mean contents at eight and 24 hours after treatment differed significantly between the populations. Results have shown that the metabolism of fenoxaprop-P-ethyl to fenoxaprop-P is very similar in the tested populations although they have different resistance mechanisms.

Further studies are intended to show if the populations differ in the formation of other unknown metabolites.

Keywords: ACCase resistance, aryloxyphenoxypropionates (AOPPs), herbicide metabolism, non-target-site resistance (NTSR)

Zusammenfassung

Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) ist in Europa eines der Ungräser mit der größten wirtschaftlichen Bedeutung. Durch die Entwicklung und Ausbreitung resistenter Populationen wurde die Bekämpfung zu einer ernstzunehmenden Herausforderung in der Landwirtschaft.

Seit einigen Jahren wird eine zunehmende Wirkungsschwäche von Fenoxaprop-P-ethyl gegenüber *A. myosuroides* beobachtet.

Um das Abbauverhalten des Wirkstoffes in *A. myosuroides* zu untersuchen, wurden vier Populationen im Gewächshaus angezogen. Neben einem sensitiven Standard wurden für diese Untersuchung zwei Populationen mit einer nicht-wirkortspezifischen Resistenz (NTSR), sowie eine Population mit einer wirkortspezifischen Resistenz (TSR) verwendet. Für Dosis-Wirkungsversuche wurden die Pflanzen mit unterschiedlichen Konzentrationen des Wirkstoffes Fenoxaprop-P-ethyl behandelt und das Trockengewicht nach drei Wochen ermittelt. Basierend auf ED50-Werten konnten Resistenzfaktoren von 76 und 2 für die NTSR Populationen berechnet werden. Die Entwicklung der TSR Pflanzen wurde durch die Herbizid Behandlung nicht nachweisbar beeinflusst.

Für die Abbau- und Metabolismusstudien wurden die Pflanzen mit Fenoxaprop-P-ethyl behandelt und anschließend nach 2, 8, 24, 48 und 96 Stunden geerntet und im Labor aufgearbeitet. Der Wirkstoff wurde nach 96 Stunden fast vollständig abgebaut ohne signifikante Unterschiede zwischen den Populationen. Zwei Stunden nach Herbizid Applikation konnte ein Metabolit des Wirkstoffes in allen Populationen identifiziert und quantifiziert werden. Die Gehalte des Metaboliten in den Populationen unterscheiden sich nach 8 und nach 24 Stunden signifikant voneinander. Die Ergebnisse zeigen, dass der Metabolismus von Fenoxaprop-P-ethyl zu Fenoxaprop-P, unabhängig vom Resistenzmechanismus sehr ähnlich ist.

Weitere Studien sollen zeigen, ob sich die Populationen durch die Bildung von anderen, unbekanntem Metaboliten unterscheiden.

Stichwörter: ACCase-Resistenz, Aryloxyphenoxypropionate (AOPPs), Metabolismus, nicht-wirkortspezifischen Resistenz (NTSR)

Introduction

The use of herbicides is still the most extensively used weed control measure in agriculture (MASSA *et al.*, 2013). By the opportunity to remove weeds selectively in a relatively rapid and easy way, herbicides are an important tool in plant protection.

The recurrent application of herbicides with the same modes of action in combination with simple cropping systems and high population densities led to the selection of resistant weed populations (BECKIE, 2006). One of the most economically important herbicide resistant weeds in Europe is the annual, monocotyledonous weed blackgrass (*Alopecurus myosuroides* HUDS). In Germany the first resistant population was recorded in 1983 (HEAP, 2013). Today it is considered as a problem in many countries of North and Central Europe (MOSS *et al.*, 2007). Because of the drastic decline in available herbicides and the fact that no new herbicide mode of action has been introduced into the marketplace for over 20 years, the possibility to control weeds chemically is limited (BECKIE and TARDIF, 2012). Aryloxyphenoxypropionate herbicides (AOPPs) inhibit the first step of fatty acid synthesis by blocking the enzyme acetyl coenzyme-A carboxylase (ACCase) and are high efficacious herbicides for the control of *A. myosuroides* (COCKER, 1999).

The AOPP herbicide fenoxaprop-P-ethyl is available since the 1980s and has been widely used for the control of *A. myosuroides* (XU *et al.*, 2013). In 1983 the first fenoxaprop-P-ethyl resistant population of blackgrass was encountered in Germany (HEAP, 2013). Resistance mechanisms are mainly a modification in the target site enzyme or an enhanced detoxification of fenoxaprop-P-ethyl (POWLES and YU, 2010).

In resistant weeds as well as in cereal plants, there are two types of enzymes, glutathione S-transferases (GSTs) and cytochrome P450 monooxygenases, that are most often found to be responsible for the metabolic detoxification of herbicides (COCKER, 1999).

In *Triticum* species it has been shown that GSTs detoxify fenoxaprop-P-ethyl by catalyzing their conjugation with the tripeptide glutathione (OLE, 1996; COCKER, 1999). In soil and wheat the degradation of fenoxaprop-P-ethyl seems to be mainly hydrolysis to the metabolite fenoxaprop-P (CHEN *et al.*, 2011).

Because of the fact that there is still a lack of understanding non-target-site-based resistance mechanisms, aim of the study was to investigate if the metabolism of fenoxaprop-P-ethyl differs in sensitive and resistant populations and in populations with different resistance mechanisms.

Material und Methods

Plant material

For the experiments one herbicide-sensitive (ALOMY-S) and three herbicide resistant populations of *A. myosuroides*, ALOMY-NTSR1, ALOMY-NTSR2, ALOMY-TSR, were collected from different fields in Germany. The population ALOMY-S was used as a sensitive reference standard. Molecular analysis of plants of the populations ALOMY-NTSR1 and ALOMY-NTSR2 has shown that none of the known mutations in the ACCase gene (1781, 2027, 2041, 2078 and 2096) are responsible for the resistance against fenoxaprop-P-ethyl, and were therefore declared as populations with a non-target-site resistance (NTSR). In plants of the population ALOMY-TSR a mutation (codon position 1781) could be detected.

Dose response studies

The seeds of the four populations of *A. myosuroides* were pre-germinated in vermiculite. In BBCH 11-12 two plants in each case were transplanted in 8 x 8 cm paper pots (Jiffy A/S, Denmark) containing a soil mixture (50% compost, 25% clay, 25% sand). Plants were placed in a heated

greenhouse (25/15 °C, 12 h photoperiod). At 2-3 leaf-stage (BBCH 12-13) plants were treated with a precision application chamber using a flat-fan nozzle (8002 EVS, TeeJet Spraying Systems Co., Wheaton, IL, USA, pressure 300 kPa, speed 800 mm⁻¹, water amount 200 l ha⁻¹). Fenoxaprop-P-ethyl (Ralon Super Power Plus, 69 g a.i. L⁻¹, EW, Nufarm plc) was sprayed with 10 different dose rates (662.4 – 2.6 g a.i. ha⁻¹) including a control variation. Each treatment was repeated three times and placed in the greenhouse in a randomised design. Three weeks after herbicide treatment plants were cut at ground level and dried for 48 hours at 80 °C in a drying cabinet. For the dry weight determination a precision balance was used.

Degradation- and metabolism studies

For the metabolism studies a defined amount of seeds was sown in 20 x 30 cm boxes. Soil mixture, plant growth and herbicide treatment technique was the same as described for the dose-response studies. To ensure herbicide uptake, plants were watered from below. Two-leaf stage seedlings of the four *A. myosuroides* populations were treated with fenoxaprop-P-ethyl (165.6 g a.i. ha⁻¹). Control variations were sampled prior to herbicide treatment (0 hours after treatment (HAT)). Further sampling dates were 2, 8, 24, 48 and 96 HAT. The experiment had a completely randomised design with three replicates per population and sampling date. To investigate the degradation and metabolism, two grams of leaf tissue per sample were ground in liquid nitrogen using a mortar and pestle. Together with 25 ml acetonitrile the sample was homogenized for 30 s using an Ultra-turrax homogenizer, filtered and gathered in a rotary piston. Acetonitrile was removed in a vacuum rotary evaporator and a water bath (30 °C). The residue was dissolved with acetonitrile (1.5 ml). After evaporation of acetonitrile with nitrogen on a heating block (60 °C), the residue was taken up with acetonitrile/water (1:1) and centrifuged at 20,000 x g for 10 min at 4 °C. Samples were measured with a HPLC - High Performance Liquid Chromatography (Waters Corporation, USA) in combination with a diode array detector (DAD). The analysis standards of fenoxaprop-P-ethyl and fenoxaprop-P were obtained from Bayer CropScience and from Sigma-Aldrich (USA).

Statistical analyses

Statistical analyses were performed using the software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011). For analysis of the dose response studies and the degradation of fenoxaprop-P-ethyl, R was supplemented with the 'drc' package (RITZ and STREIBIG, 2005). A nonlinear model was used as described in KNEZEVIC *et al.* (2007) and a model lack of fit test was performed. If necessary a Box-Cox data transformation was carried out to achieve homogeneity of variance. The resistance factors (RF) were calculated as the ED50/ED90 of the resistant population divided by the ED50/ED90 of the sensitive population.

To evaluate the effects of population and time (HAT) on fenoxaprop-P-ethyl and its metabolite fenoxaprop-P a two-factorial analysis of variance (ANOVA) was used, followed by Tukey HSD test at the 5% probability.

ANOVA requirements were checked and if necessary a transformation of data prior to ANOVA was carried out to stabilize the variance. To describe the dynamics of the metabolite fenoxaprop-P a nonlinear pharmacokinetic model was used.

Results

Dose response studies

As can be seen in the dose response curves for the populations ALOMY-S, ALOMY-NTSR1 and ALOMY-NTSR2 dry weight decreased as fenoxaprop-P-ethyl dose increased (Fig. 1). For ALOMY-TSR no curve could be fitted, because the different dosages of fenoxaprop-P-ethyl had no influence on plant development and biomass.

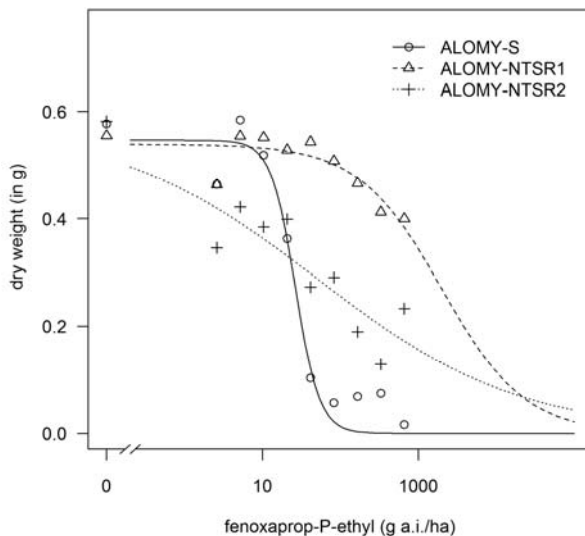


Fig. 1 Effect of fenoxaprop-P-ethyl on dry weight of the populations ALOMY-S, ALOMY-NTSR1 and ALOMY-NTSR2. Each point is the mean of three repetitions.

Abb. 1 Wirkung von Fenoxaprop-P-ethyl auf das Trockengewicht der Populationen ALOMY-S, ALOMY-NTSR1 und ALOMY-NTSR2. Jeder Punkt stellt den Mittelwert von drei Wiederholungen dar.

Effective dosages causing a 50 and 90%-reduction in dry weight and corresponding resistance factors calculated from regression curves are listed in Table 1. For ALOMY-S 26.31 g a.i. ha⁻¹ were needed to reach ED50 and 57.76 g a.i. ha⁻¹ to reach ED90. For ALOMY-NTSR1 both estimates were gained by extrapolation and account for 1996.89 g a.i. ha⁻¹ for ED50 (RF 76) and 29937.01 g a.i. ha⁻¹ for ED90 (RF 518). For ALOMY-NTSR2 50.81 g a.i. ha⁻¹ were needed to reach ED50 resulting in a resistance factor of 2. To reach ED90 38153.02 g a.i. ha⁻¹ (extrapolation) were needed, resulting in a resistance factor of 660. The test for lack of fit was non-significant (p = 0.75), indicating that data was well described by the model. As can be seen at the curves, the resistance of population ALOMY-NTSR2 became apparent at higher dosages of the active substance. At lower dosages plants of this population reacted more susceptible than plants of the sensitive population ALOMY-S, whereas the resistance of ALOMY-NTSR1 became apparent even at lower dosages.

Tab. 1 Fenoxaprop-P-ethyl ED50- and ED-90 values and corresponding resistance factors of the dose response studies depending on the population.

Tab. 1 ED50- und ED90-Werte von Fenoxaprop-P-ethyl, sowie entsprechende Resistenzfaktoren der Populationen in den Dosis-Wirkungsversuchen.

Population	ED50		ED90	
	Estimate (g a.i. ha ⁻¹)	RF	Estimate (g a.i. ha ⁻¹)	RF
ALOMY-S	26.31	1	57.76	1
ALOMY-NTSR1	1996.89	76	29937.01	518
ALOMY-NTSR2	50.80	2	38153.02	660

* Estimates of ED50 and ED90 were calculated from regression curves (Fig.1), RF; Resistance factor

Degradation- and metabolism studies

As can be seen in Figure 2 a degradation of fenoxaprop-P-ethyl was measurable in all populations. The test for lack of fit was non-significant ($p = 0.84$), indicating that the model is appropriate for data.

ANOVA showed a significant effect of the factor time ($p = 0.0001$). The mean content of fenoxaprop-P-ethyl was significantly different at all sampling dates. The factor population was a non-significant effect ($p = 0.99$). In all populations fenoxaprop-P-ethyl degraded within four days (96 HAT).

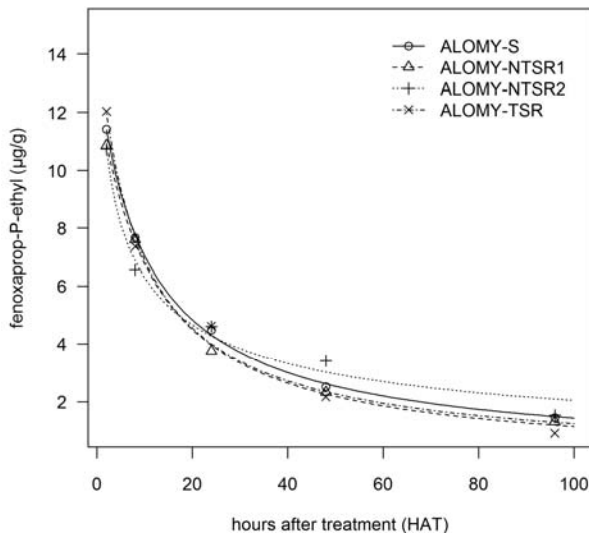


Fig. 2 Degradation of fenoxaprop-P-ethyl in ALOMY-S, ALOMY-NTSR1, ALOMY-NTSR2 and ALOMY-TSR within 96 hours.

Abb. 2 Abbau von Fenoxaprop-P-ethyl in den Populationen ALOMY-S, ALOMY-NTSR1, ALOMY-NTSR2 und ALOMY-TSR innerhalb von 96 Stunden.

As shown in Figure 3 metabolite fenoxaprop-P could be detected in all populations. ANOVA showed a significant interaction effect of the factors time and population ($p = 0.0005$). The mean content at 2 HAT was between 3.05 and 3.38 $\mu\text{g/g}$ and did not significantly differ between the different populations (Tab. 2). The mean content of fenoxaprop-P increased in all populations until 8 HAT. At this time the mean content in ALOMY-TSR (7.75 $\mu\text{g/g}$) was significantly higher than in ALOMY-S, ALOMY-NTSR1 and NTSR2 (5.6 -5.95 $\mu\text{g/g}$). At 24 HAT the mean content of fenoxaprop-P was significantly higher in ALOMY-S (7.12 $\mu\text{g/g}$) and ALOMY-TSR (5.27 $\mu\text{g/g}$) than in the NTSR-populations (3.09 and 4.6 $\mu\text{g/g}$). At the two last sampling dates fenoxaprop-P further degraded without significant differences between the populations. At 96 HAT the mean content in ALOMY-S (1.62 $\mu\text{g/g}$) is around twice as high as in the resistant populations where the metabolite was almost completely degraded (0.62-0.82 $\mu\text{g/g}$).

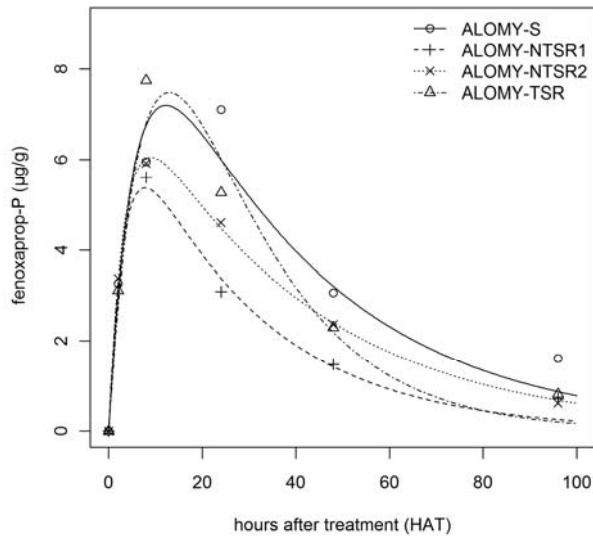


Fig. 3 Dynamics of the metabolite fenoxaprop-P in ALOMY-S, ALOMY-NTSR1, ALOMY-NTSR2 and ALOMY-TSR within 96 hours.

Abb. 3 Dynamik des Metaboliten Fenoxaprop-P in ALOMY-S, ALOMY-NTSR1, ALOMY-NTSR2 und ALOMY-TSR innerhalb von 96 Stunden.

Tab. 2 Fenoxaprop-P mean contents of the populations ALOMY-S, -NTSR1, -NTSR2 and -TSR prior to herbicide treatment (0 HAT) and 2, 8, 24, 48 and 96 hours after treatment.

Tab. 2 Mittlere Gehalte des Metaboliten Fenoxaprop-P in den Populationen ALOMY-S,-NTSR1,-NTSR2 und -TSR vor Applikation (0 HAT) sowie 2, 8, 24, 48 und 96 Stunden nach Applikation.

Population	Hours after treatment (HAT)					
	0	2	8	24	48	96
ALOMY-S	0 (± 0) a	3.23 (± 0.21) a	5.95 (± 0.8) a	7.12 (± 0.8) a	3.07 (± 0.49) a	1.62 (± 0.29) a
ALOMY-NTSR1	0 (± 0) a	3.05 (± 0.35) a	5.6 (± 0.9) a	3.083 (± 0.6) b	1.48 (± 0.18) a	0.717 (± 0.2) a
ALOMY-NTSR2	0 (± 0) a	3.38 (± 0.38) a	5.92 (± 1.07) a	4.6 (± 1.08) b	3.48 (± 0.48) a	0.62 (± 0.03) a
ALOMY-TSR	0 (± 0) a	3.12 (± 0.78) a	7.75 (± 0.65) b	5.27 (± 0.7) a	2.3 (± 0.22) a	0.82 (± 0.13) a

*Means within columns (± standard deviation) followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's HSD (p=0.05)

Discussion

When regarding the results of dose response studies it can be said that the resistant populations differ among each other when exposed to fenoxaprop-P-ethyl. For ALOMY-NTSR1 and -NTSR2 362 and 461 times the recommended dose would be necessary for the control. For ALOMY-TSR the 8 fold dose of fenoxaprop-P-ethyl didn't even influence biomass production. The mutation at position 1781 is the most common and is known as a strong ACCase mutation (POWLES and YU, 2010). The calculation of ED90-values has shown that the use of recommended dose for fenoxaprop-P-ethyl would be enough to control the sensitive population ALOMY-S sufficiently. Results have shown that it is very important to calculate ED50 and ED90 values, because in some populations, like ALOMY-NTSR2, the resistance becomes apparent only at higher dosages.

Contrary to the expectations the studies have shown that the degradation of the active substance is similar in all populations whether sensitive or resistant and whether the resistance is target-site-based or not. Fenoxaprop-P-ethyl degraded in all populations within four days. The metabolite fenoxaprop-P, known from wheat and soil could be detected in all populations two hours after herbicide treatment. This gives an indication that hydrolysis of the active ingredient has taken place (CHEN *et al.*, 2011). In ALOMY-S the formation and the degradation of the metabolite was slower and at the last sampling date, the mean content was twice as high as in the resistant populations. The dynamics of the metabolite in the NTSR-populations differed significantly from that in the ALOMY-S and ALOMY-TSR population at 24 HAT. At that time the mean content of fenoxaprop-P was significantly lower in the NTSR populations. Results indicate that the formation of the metabolite is not responsible for the differences in sensitivity towards fenoxaprop-P-ethyl, because it was formed in all populations independently whether sensitive or resistant or whether the resistance is target-site-based or non-target-site-based. It should be emphasized that for all populations the ACCase gene has been investigated for mutations at the codon positions 1781, 2027, 2041, 2078 and 2096. It cannot be excluded that in the NTSR populations a rare or an unknown mutation is present. It also cannot be excluded that in the TSR population multiple resistance mechanisms occur. It is known, that some resistant populations have an insensitive ACCase as well as an increased rate of detoxification (COCKER, 1999).

In grasses the plastid ACCase is the target for AOPP herbicides (ABBASPOOR and STREIBIG, 2005). The reason why sensitive populations die off is that the ACCase is essential for lipid biosynthesis. Among other processes the production of reactive oxygen species (ROS) leads to several damaging reactions resulting in plants death. This could be shown for ALOMY-S in the dose response studies. In populations with a target-site resistance the ACCase is altered due to a gene mutation, conferring amino acid change (POWLES and YU, 2010). This means that the active ingredient cannot be effective as mentioned for ALOMY-TSR in the dose response studies, where none of the dosages influenced plant development. In populations with a non-target-site-based herbicide resistance, different mechanisms cause that the amount of herbicide reaching the target is nonlethal (POWLES and YU, 2010). NTSR mechanisms include decreased rates of herbicide translocation, decreased herbicide penetration or increased rates of herbicide metabolism or sequestration. In these studies the focus has been on enhanced herbicide metabolism. It is conceivable that other NTSR mechanisms, like decreased translocation or increased sequestration exist in the populations. Furthermore it is conceivable that other metabolites which could not be identified in the conducted experiments due to the measurement technique occur in the NTSR populations which declare the resistance.

In the study of CUMMINS *et al.* (2009) experiments were carried out to investigate if safeners enhance detoxification pathways. In this study fenoxaprop-P-ethyl was detoxified in wheat and *A. myosuroides* by conjugation with glutathione. Through ester hydrolysis and GST-mediated cleavage, metabolites were formed. Thus, it cannot be excluded, that these metabolites also were formed in the present study.

The dynamics of the metabolite suggest that in the time between 8 and 48 HAT other metabolites were formed. In the next experiments the existence of other unknown metabolites is to clarify using a liquid chromatography with detection via tandem mass spectrometry (LC/MS-MS).

Acknowledgments

Thanks to Bayer CropScience for their kind provision of the chemical standard and seed samples and to Prof. Dr. Jan Petersen for kindly providing seed samples for these studies.

References

- ABBASPOOR, M. and J.C. STREIBIG, 2005: Clodinafop changes the chlorophyll fluorescence induction curve. *Weed Science* **53**(1), 1-9.
- BECKIE, H. J., 2006: Herbicide-Resistant Weeds: Management Tactics and Practices. *Weed Technology* **20**(3), 793-814.
- BECKIE, H. J. and F.J. TARDIF, 2012: Herbicide cross resistance in weeds. *Crop Protection* **35**, 15-28.

- CHEN, X., S. YU, L. HAN, S. SUN, Y. ZHU and W. LI, 2011: Residues and dissipation of the herbicide fenoxaprop-P-ethyl and its metabolite in wheat and soil. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* **87**(1), 50–3.
- COCKER, K., 1999: Multiple Mechanisms of Resistance to Fenoxaprop-P-Ethyl in United Kingdom and Other European Populations of Herbicide-Resistant *Alopecurus myosuroides* (Black-Grass). *Pesticide Biochemistry and Physiology* **65**(3), 169–180.
- CUMMINS, I., D. N. BRYANT and R. EDWARDS, 2009: Safener responsiveness and multiple herbicide resistance in the weed black-grass (*Alopecurus myosuroides*). *Plant biotechnology journal* **7**(8), 807–20.
- HEAP, I., 2013: The International Survey of Herbicide-Resistant Weeds. Available at: <http://www.weedscience.org> (last accessed 09. October 2013).
- KNEZEVIC, S. Z., J. C. STREIBIG and C. RITZ, 2007: Utilizing R Software Package for Dose-Response Studies: The Concept and Data Analysis. *Weed Technology* **21**(3), 840–848.
- MASSA, D., Y. KAISER, D. ANDÚJAR-SÁNCHEZ, R. CARMONA-ALFÉREZ, J. MEHRTENS and R. GERHARDS, 2013: Development of a Geo-Referenced Database for Weed Mapping and Analysis of Agronomic Factors Affecting Herbicide Resistance in *Apera spica-venti* L. Beauv. (Silky Windgrass). *Agronomy* **3**(1), 13–27.
- MOSS, S. R., S. A. M. PERRYMAN and L. V. TATNELL, 2007: Managing Herbicide-resistant Blackgrass (*Alopecurus Myosuroides*): Theory and Practice. *Weed Technology* **21**(2), 300–309.
- OLE, D. A. J. C., 1996: Glutathione Transferases in Wheat (*Triticum*) Species with Activity toward Fenoxaprop-Ethyl and Other Herbicides **104**, 96–104.
- POWLES, S. B. and Q. YU, 2010: Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annual Review of Plant Biology* **61** (61), 317–347.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- XU, H., X. ZHU, H. WANG, J. LI and L. DONG, 2013: Mechanism of resistance to fenoxaprop in Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) from China. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **107**(1), 25–31.

Validation of the chlorophyll fluorescence imaging method (CFI) for early detection of herbicide resistance in weeds

Validierung der Chlorophyll Fluoreszenz Imaging-Methode (CFI) zur Früherkennung von Herbizidresistenz in Unkräutern

Alexander Menegat^{1*} and Roland Gerhards¹

¹ Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin, Fachgebiet Herbologie, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart

* Corresponding author, alexander.menegat@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.006

Abstract

The increasing number of herbicide tolerant weed populations is illustrating the increasing demand for reliable methods for an accelerated detection of herbicide tolerance compared to greenhouse studies. Several methods for resistance quick detection have been published in previous years. One of the recent methods is the Chlorophyll Fluorescence Imaging Method (CFI). For this method changes in photosynthetic activity of the target organisms, caused by herbicides, are determined. General assumption of this method in terms of herbicide resistance detection is that each herbicidal compound, independent of the mode of action, will cause changes within the photosynthetic apparatus of the target organisms. This effect already could be confirmed for several modes of action (PSII, ALS, ACCase, EPSPS, synth. Auxins).

Aim of this study is to validate this novel method on the basis of greenhouse experiments and single nucleotide polymorphisms (SNP) analysis. The resistance profiles of 10 black-grass populations (*Alopecurus myosuroides* Huds.) have been determined in greenhouse herbicide efficacy trials and constitutive SNP analyses of the survivors.

With the CFI-method it was possible to detect the resistance profile as well as the resistance frequency within the populations. The results from the greenhouse experiments could be reproduced with conformity of 94%. This result is valid for the tested herbicides mesosulfuron, pyroxsulam as well as clodinafop and pinoxaden.

Keywords: ACCase, *Alopecurus myosuroides* Huds., ALS, blackgrass, herbicide resistance, resistance quick detection

Zusammenfassung

Die ständig steigende Zahl herbizidresistenter Unkrautpopulationen verdeutlicht den wachsenden Bedarf an verlässlichen Methoden welche eine, im Vergleich zu Gewächshausversuchen, beschleunigte Detektion von Herbizidresistenz erlauben. Mehrere solcher Methoden wurden in den vergangenen Jahren publiziert. Eine der neuesten Methoden ist das Chlorophyll Fluoreszenz Imaging (CFI). Hierbei handelt es sich um die bildgebende Erfassung von Veränderungen der Fotosyntheseleistung der Zielorganismen, verursacht durch biotische oder abiotische Stressursachen. Die generelle Annahme dieser Methode in Bezug auf Herbizidresistenz ist, dass jeder herbizide Wirkstoff entweder primär oder sekundär eine Beeinträchtigung der Fotosyntheseleistung der behandelten Pflanzen bewirkt. Dieser Effekt konnte in der Vergangenheit bereits für eine große Anzahl herbizider Wirkmechanismen nachgewiesen werden (PSII, ALS, ACCase, EPSPS, synth. Auxine).

Die hier vorgestellten Versuche haben zum Ziel, diese neue Methode anhand von Gewächshausversuchen sowie genetischen Untersuchungen zu validieren.

Das Resistenzmuster von insgesamt 10 Acker-Fuchsschwanz-Populationen (*Alopecurus myosuroides* L.) wurden in Gewächshausversuchen im Voraus erfasst und darauf aufbauend molekularbiologisch auf bekannte genetische Mutationen an den Wirkorten untersucht.

Mit der CFI-Methode konnte bei allen getesteten Populationen der Resistenzstatus sowie die Frequenz innerhalb der getesteten Population detektiert werden. Im Vergleich zu Gewächshausversuchen sowie den molekularbiologischen Untersuchungen konnten die Ergebnisse zu 94 % reproduziert werden. Dieses Ergebnis ist gültig für die Wirkstoffe Mesosulfuron, Pyroxsulam, Pinoxaden und Clodinafop.

Stichwörter: ACCase, Acker-Fuchsschwanz, ALS, Herbizidresistenz, Resistenzschnelltest

Introduction

The number of herbicide tolerant weed populations is increasing worldwide (HEAP, 2013). Farmers, federal and private consulting services as well as the chemical industry are aware of this situation and started extensive, active and proactive, herbicide resistance monitoring programs in past years (e.g. SIEVERNICH *et al.*, 2013). Due to the increasing number of suspicious herbicide tolerant weed populations to be tested, the demand for screening methods which allow an accelerated detection of resistance patterns, is rising. Several new screening methods have been published, e.g. the Rothamsted Rapid Resistance Test (MOSS, 2000), the Syngenta RISQ-test (KAUNDUN *et al.* 2011) and the Chlorophyll Fluorescence Imaging Method (CFI-Test) (MENEGAT *et al.*, 2011; KAISER *et al.*, 2013). A comprehensive summary and discussion of actual test methods can be found at BURGOS *et al.* (2013). The CFI-Test could demonstrate its feasibility for a wide range of herbicidal compounds as well as for various weed species. The main advantage of the CFI-Test, compared with other quick tests, is the quantitative assessment of herbicide efficacy as well as the large number of repetitions which can be realised per population. The large number of repetitions allows a determination of the resistance frequency within the population.

So far the results obtained from the CFI-Test have not been validated. Therefore the aim of the presented study is to compare the resistance classification for different *A. myosuroides* populations with the classification results obtained from standard greenhouse herbicide efficacy studies.

Material and Methods

Greenhouse whole-plant herbicide efficacy studies

Ten *A. myosuroides* populations with different resistance profiles were selected for the experiments. The resistance profiles were obtained from standard herbicide efficacy studies under greenhouse conditions (subsequent named whole-plant tests). Therefore *A. myosuroides* populations were pre-germinated in Vermiculite and transplanted into 8 cm Jiffy pots (Jiffy Products International B.V., NL) at growth stage BBCH 09/10. A plant density of 4 plants per pot was realised. The pots were placed in a glasshouse at 15 °C day and 10 °C at night (+/- 3 °C), 60% humidity and with 12h additional illumination. Herbicide treatment took place at growth stage BBCH 12-13 with a standard laboratory track sprayer (8002 EVS TeeJet® nozzle, pressure 320 kPa, water amount 200 l/ha). The following three herbicides and dosages were used:

1. Atlantis WG®; 1.0 kg/ha, 0.4 kg/ha, 0.16 kg/ha
2. Broadway®; 687 g/ha, 275 g/ha, 110 g/ha
3. Traxos®; 1.2 l/ha

Each treatment was repeated three times. Atlantis WG® and Broadway® were sprayed with their respective adjuvants. Herbicide efficacy assessment took place 21 days after treatment by visual estimation of plant damage compared to the untreated control of the respective population. Resistance classification was done according to Moss (1999). For single nucleotide polymorphism analysis (SNP), 10 leaf samples were taken from 10 individual plants which survived the respective herbicide treatment.

Chlorophyll Fluorescence Imaging Resistance Test; herbicide treatment, instrumentation and measurement routine

For preparation of the Chlorophyll Fluorescence Imaging Resistance Test (subsequent named CFI-Test) seeds of the selected *A. myosuroides* populations were pre-germinated on 0.8% sterilized agar (Micro Agar, Duchefa, Germany), containing a nutrient composition according to PEDAS *et al.* (2005). Petri dishes were placed in growth cabinets at a 12h-photoperiod and a temperature regime of 15/5 °C. After germination seedlings were transferred into 24-well multiwell plates (Greiner GmbH, Germany). The multiwell plates were prepared with a mixture of 500 µl herbicide solution and 500 µl sterilized 0.8% agar containing the same nutrient composition used for the

pre-germination. Tested herbicides and dosages can be obtained from Table 1. Each treatment, including the untreated control was repeated 24 times.

Chlorophyll fluorescence parameters were analysed with an IMAGIN-PAM M-Series Chlorophyll Fluorometer (Heinz Walz GmbH, Germany). For evaluation of herbicide efficacy, the maximum quantum efficiency of PSII (subsequently named Fv/Fm) was used. Fv/Fm is calculated by the equation:

$$Fv/fm = (Fm - F0)/Fm$$

Fm stands for the maximum fluorescence yield and F0 for the fluorescence yield of dark adapted plants. For Fv/Fm determination plants were dark adapted for 30 minutes prior to the measurement.

Resistance classification took place at the time at which the Fv/Fm value of the sensitive reference population (2903-STD) tended towards zero and hence the maximum herbicide efficacy was reached. Resistance classification according to Moss (1999) took place 72 hours after treatment for Atlantis WG®, 168 hours after treatment for Broadway® and 48 hours after treatment for Traxos®.

Tab. 1 Herbicides and their dosages used for the chlorophyll fluorescence imaging resistance test.

Tab. 1 Für den Chlorophyll Fluoreszenz Imaging Resistenz Test verwendete Herbizide und deren Dosierungen.

Trade name	Active ingredient	Mode of action (HRAC group)	Herbicide dose (mM)	Efficacy assessment (h after treatment)
Atlantis WG®	Mesosulfuron + iodosulfuron	Inhibition of ALS (B)	1.97*	72
Broadway®	pyroxsulam + florasulam	Inhibition of ALS (B)	2.16*	168
Traxos®	pinoxaden + clodinafop	Inhibition of ACCase (A)	0.187*	48

*Dosages refer to the active ingredient highlighted in column two

Results

Herbicide resistance patterns and SNP profiles obtained from whole-plant herbicide efficacy studies

Table 2 shows the herbicide resistance classification of the selected *A. myosuroides* populations as well as the respective SNP profiles. The selected populations are very diverse regarding their SNP-profiles ranging from combined ALS/ACCcase target site resistance (population 4411) to non-target-site resistant populations with a multiple resistance against ACCcase and ALS (population 4446). Likewise diverse are the respective resistance patterns found during the whole-plant herbicide efficacy studies. Aim of the subsequent performed CFI resistance test is to validate the resistance patterns found in the whole-plant efficacy tests.

Tab. 2 Herbicide resistance patterns and SNP profiles of the selected *A. myosuroides* populations obtained from whole-plant greenhouse herbicide efficacy studies and subsequent SNP analyses of survivors.

Tab. 2 Resistenzmuster und Mutationsprofile der ausgewählten *A. myosuroides* Populationen, basierend auf Resistenztests unter Gewächshausbedingungen und SNP-Analysen an Pflanzen welche die jeweilige Herbizidbehandlungen überlebt haben.

Population	Tested herbicides			SNP	SNP frequency within population
	Atlantis WG®	Broadway®	Traxos®		
2903-STD	S	S	S	-	-
4411	RR	RR	RR	Ser197/Leu574/Leu1781	63%/13%/75%
4414	RR	R?	RR	-	-
4432	S	S	RR	-	-
4445	R?	R?	R?	-	-
4446	R?	R?	R?	-	-
4447	RR	RR	S	Leu574	100%
4449	RR	RR	S	-	-
4547	S	S	S	-	-
4549	RR	RR	RR	Leu574	100%

CFI-resistance test results and comparison with whole-plant efficacy studies

For Atlantis WG® the general resistance classification (sensitive or resistant) obtained by the CFI-Test corresponded in nine of ten cases with the results obtained from the whole-plant greenhouse study. In two cases the resistance classification found with the CFI-Test were higher (RR) than those obtained by the whole-plant essay (R?). Population 4432 was classified as sensitive against Atlantis WG® but was classified as resistant (RR) during the CFI-essay. Additional ALS-SNP analyses with surviving plants out of the CFI-Test were negative. Regardless the possibility of an existing NTSR we classify this case as false positive detection.

For Broadway® the general resistance classification (sensitive or resistant) obtained by the CFI-Test corresponded in nine of ten cases with the results obtained from the whole-plant greenhouse study. In four cases the resistance classification of the CFI-Test was higher than the classification found in the whole-plant test (populations 4411, 4414, 4447 and 4549) and in one case the classification of the CFI-Test was lower (population 4449). Population 4547 was classified as sensitive against Broadway® but was classified as resistant (RR) during the CFI-Test. Additional ALS-SNP analyses with surviving plants out of the CFI-Test were negative. Regardless the possibility of an existing NTSR we classify this case as false positive detection.

For Traxos® the general resistance classification (sensitive or resistant) obtained by the CFI-Test corresponded in nine of ten cases with the results obtained from the whole-plant greenhouse study. In three cases the classification found by the CFI-Test was higher than those found in the whole-plant tests and in one case lower. Population 4547 was classified as RR by the CFI-Test and S by the whole-plant test. Subsequent SNP analyses with surviving plants out of the CFI-Test confirmed an ACCase SNP (Leu1781) with a frequency of 29% within the population. Thus we could confirm the false negative classification of the whole-plant test.

Tab. 3 Comparison of classification results obtained by the CFI resistance test and the whole-plant test.

Tab. 3 Vergleich der Klassifikationsergebnisse des CFI Resistenztests und des Resistenztests unter Gewächshausbedingungen.

Population		Tested herbicides				SNP frequency within population
		Atlantis WG®	Broadway®	Traxos®	SNP	
2903-STD	Whole-plant test	S	S	S	-	-
	CFI resistance test	S	S	S	-	-
4411	Whole-plant test	RR	RR	RR	Ser197/Leu574/Leu1781	63%/13%/75%
	CFI resistance test	RR	RRR	RR	-	-
4414	Whole-plant test	RR	R?	RR	-	-
	CFI resistance test	RR	RR	RR	-	-
4432	Whole-plant test	S	S	RR	-	-
	CFI resistance test	RR	S	RRR	-	-
4445	Whole-plant test	R?	R?	R?	-	-
	CFI resistance test	RR	R?	RR	-	-
4446	Whole-plant test	R?	R?	R?	-	-
	CFI resistance test	RR	R?	RR	Leu1781	38%
4447	Whole-plant test	RR	RR	S	Leu574	100%
	CFI resistance test	RR	RRR	S	-	-
4449	Whole-plant test	RR	RR	S	-	-
	CFI resistance test	RR	R?	S	-	-
4547	Whole-plant test	S	S	S	-	-
	CFI resistance test	S	RR	RR	Leu1781	29%
4549	Whole-plant test	RR	RR	RR	Leu574	100%
	CFI resistance test	RR	RRR	R?	-	-

Discussion

The presented initial validation was the first step towards a comprehensive validation of the CFI-test. We could show that the classification results obtained by the CFI-test correspond well with the classification results obtained by the whole-plant test, thus conformity of 94% could be achieved for the resistance detection. However, in some cases the resistance classification found in the CFI-test was higher or lower than those found in the whole-plant tests. Within the CFI-test system compounds are not affected by biotic and abiotic degradation accordingly the only existing sink for the compounds are the plants itself. Previous studies could show that ED50 and ED90 values decrease with time since the availability of the compound within the test system is decreasing only marginally. Hence the proper timing for resistance classification is essential to avoid an under- or overestimation of the herbicide efficacy.

The experiments could demonstrate that the CFI-test is a reliable and fast method for herbicide resistance detection. The method is already applicable for a wide range of compounds out of the HRAC groups A, B, C, G and O and for more than 15 monocotyledonous and dicotyledonous weed species. Beyond the laboratory based CFI-test a novel Chlorophyll Fluorescence Imaging System is under development which will allow the herbicide resistance detection directly in the field. This will allow farmers to adapt their herbicide decision within the season and to control the herbicide efficacy within a few days after application, far before herbicide symptoms will be visible.

Acknowledgements

This project is funded by the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) based on decision of the Parliament of the Federal Republic of Germany.

The authors would like to thank Yasmin Kaiser, Christian Heckmann and Alexandra Heyn for their assistance during data acquisition, as well as Identxx GmbH for performing the SNP analysis. Furthermore the authors would like to thank Dow AgroScience Germany for providing the weed populations.

References

- BURGOS, N. R., P. J. TRANEL, J. C. STREIBIG, V. M. DAVIS, D. SHANER, J. K. NORSEWORTHY and C. RITZ, 2013: Review: confirmation of resistance to herbicides and evaluation of resistance levels. *Weed Sci.* **61**, 4-20.
- HEAP, I., 2013: International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedresearch.com>. Accessed October 15 2013.
- KAISER, Y., A. MENEGAT and R. GERHARDS, 2013: Chlorophyll fluorescence imaging: a new method for rapid detection of herbicide resistance in weeds. *Weed Res.*, in press.
- KAUNDUN, S. S., S. J. HUTCHINGS, R. P. DALE, G. C. BAILLY and P. GLANFIELD, 2011: Syngenta RISQ test: a novel in-season method for detecting resistance to post-emergence ACCase and ALS inhibitor herbicides in grass weeds. *Weed Res.* **51**, 284-293.
- MENEGAT, A., Y. KAISER, A. STEPHAN, H. NI and R. GERHARDS, 2011: Chlorophyll Fluorescence Microscreening as a Rapid Detection Method for Herbicide Resistance in Grass Weeds in North China Plain Winter Wheat Production Systems and Beyond. In: Proceedings of the 23rd Asian-Pacific Weed Science Society Conference, Cairns, Australia.
- MOSS, S. R., 2000: The Rothamsted Rapid Resistance Test for detecting herbicide-resistance in annual grass-weeds. *Weed Science Society of America Annual Meeting* **40**, Abstract 102.
- SIEVERNICH B., M. PFENNING and A. MENEGAT, 2013: *Alopecurus myosuroides* – Variation in resistance profile, their geographical spread and impact on herbicidal control options in winter annual cropping systems. Proceedings, 16th Symposium EWRS 2013, 291.

On the discovery of genes involved in metabolism-based resistance to herbicides using RNA-Seq transcriptome analysis in *Lolium rigidum*

Zur Entdeckung der beteiligten Gene an der metabolischen Herbizidresistenz in *Lolium rigidum* durch RNA-Seq Transkriptom Analyse.

Todd A. Gaines^{1,2}, Lothar Lorentz², Andrea Figge², Frank Maiwald³, Mark-Christoph Ott³, Heping Han¹, Roberto Busi¹, Qin Yu¹, Stephen B. Powles¹ and Roland Beffa^{2*}

¹Australian Herbicide Resistance Initiative (AHRI), School of Plant Biology, University of Western Australia, Australia; ²Bayer CropScience, Weed Resistance Research, 65926 Frankfurt am Main, Germany;

³Bayer CropScience, Bioinformatics Monheim, 40789 Monheim am Rhein, Germany.

*Corresponding author, roland.beffa@bayer.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.007

Abstract

Weed control failures due to herbicide resistance are an increasing and worldwide problem significantly impacting crop yields. Herbicide resistance due to increased herbicide metabolism in weeds is not well characterized at the genetic level. An RNA-Seq transcriptome analysis was used to identify genes conferring metabolism-based herbicide resistance (MBHR) in a population (R) of a major global weed (*Lolium rigidum*), in which resistance to the herbicide diclofop-methyl was experimentally evolved through recurrent selection from a susceptible (S) progenitor population. A reference transcriptome of 19,623 contigs was assembled using 454 sequencing technology on a cDNA library and annotated using UniProt and Pfam databases. Transcriptomic-level gene expression was measured using Illumina 100 bp reads from untreated control, mock, and diclofop-methyl treatments of R and S. Due to the established importance of cytochrome P450 (CytP450), glutathione-S-transferase (GST), and glucosyltransferase (GT) genes in MBHR, 11 contigs with these annotations and higher constitutive expression in untreated R than in untreated S were selected as candidate genes for hypothesis testing, along with 17 additional differentially expressed contigs with annotations related to metabolism or signal transduction. In a forward genetics validation experiment, higher constitutive expression of nine contigs co-segregated with the resistance phenotype in an F₂ population, including 3 CytP450, 3 GST, and 1 GT. At least nine genes with heritable increased constitutive expression are associated with MBHR trait. In a physiological validation experiment where 2, 4-D pre-treatment induced diclofop-methyl protection in S individuals due to increased metabolism, seven of the nine genetically-validated contigs were significantly induced. These data help explain accumulation of resistance-endowing genes and rapid evolution of MBHR, and provide the opportunity to improve diagnostics of MBHR using molecular tools such as transcriptional markers.

Keywords: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), diclofop-methyl, evolution, herbicide metabolism, herbicide resistance, next-generation sequencing, transcriptional markers

Zusammenfassung

Herbizidresistenz ist weltweit ein zunehmendes Problem in der Landwirtschaft, vor allem der enzymatische Abbau von Wirkstoffen bzw. die metabolische Herbizidresistenz (MBHR) ist bislang noch weitgehend unbekannt, besonders auf genetischer Ebene. Um die an einer MBHR beteiligten Gene zu identifizieren wurde das Transkriptom von Herbizid-resistenten und sensitiven Weidelgräsern (*Lolium rigidum*) in einem RNA-Seq-Ansatz verglichen. Die verwendete Diclofop-Methyl herbizidresistente Population wurde experimentell aus einer sensitiven Population rekurrent selektiert. Ein 19623 Contig umfassendes Referenztranskriptom wurde aus einer cDNA Bibliothek der resistenten Pflanzen durch 454 Sequenzierung erstellt und mit Hilfe von UniProt und Pfam annotiert. Mit 100 bp Illumina-Reads wurde die Genexpression in unbehandelten, mit Blindformulierung und mit formuliertem Herbizid Diclofop-methyl behandelten resistenten und sensitiven Pflanzen untersucht. Es ist bekannt, dass Cytochrom P450 (CytP450), Glutathion-S-transferasen (GST) oder Glycosyltransferasen (GT) eine wichtige Rolle in der MBHR spielen. Elf Contigs, die als solche annotiert und in unbehandelten resistenten Pflanzen konstitutiv höher exprimiert sind als in Sensitiven, wurden als Kandidatengene ausgewählt und getestet. Zusätzlich wurden 17 weitere Contigs untersucht, die zwischen resistenten und sensitiven Pflanzen unterschiedlich exprimiert und durch ihre Annotation in Metabolismus oder Signaltransduktion eingebunden sind. Eine höhere konstitutive Expression konnte in neun selektierten Contigs (u.a. 3 CytP450, 3 GST, 1 GT) auch in der F₂ Generation bestätigt werden, cosegregierend mit den resistenten Phänotypen. Daher ist die Expression von mindestens neun Genen mit metabolischer Diclofop-

methyl Herbizidresistenz gekoppelt und vererbbar. Eine Vorbehandlung sensitiver Weidelgras-Pflanzen mit 2,4-D induziert metabolische Resistenz gegenüber dem ACCase Inhibitor Diclofop-methyl. Dies wurde verwendet, um die Expression der 28 selektierten Contigs zusätzlich physiologisch zu validieren. Sieben der neun zuvor beschriebenen Contigs sind in der physiologischen Validierung auch in sensitiven Pflanzen durch 2,4-D induziert. Diese Ergebnisse bieten neue Diagnosemöglichkeiten und verdeutlichen den Zusammenhang zwischen einer vererbbaaren Expressionsregulierung von Resistenz vermittelnden Genen und der schnellen Entwicklung von MBHR.

Stichwörter: 2,4-Dichlorophenoxyessig Säure (2,4-D), Diclofop-Methyl, Evolution, Herbizidmetabolisierung, Herbizidresistenz, Next-Generation Sequenzierung, transkriptionelle Marker, Transkriptomic

Introduction

Herbicides are major tools to control weeds and weed control failure caused by herbicide resistance is an increasing and worldwide problem (HEAP, 2013). The evolution of herbicide resistance involved several mechanisms and has rapidly occurred when large and genetically variable weed populations have been subjected to intensive herbicide selection (POWLES AND YU, 2010). Target-site based herbicide resistance mechanisms confer resistance only to a selecting herbicide chemistry/mode-of-action. In contrast metabolism-based herbicide resistance (MBHR) mechanisms can induce resistance across diverse herbicide chemical classes having different modes-of-action. Several studies in *L. rigidum* have shown that 1) herbicide cross-resistance involves enhanced herbicide metabolism (PRESTON, 2004), 2) MBHR can be selected through several generations by the use of recurrent low rate of herbicides, in particular the acetyl-coA carboxylase (ACCCase) inhibitor diclofop-methyl (DFM; NEVE AND POWLES, 2005), 3) cytochrome P450 monooxygenases (CytP450) might be involved since inhibitors like malathion can reverse MBHR (BUSI *et al.*, 2013), 4) several loci are involved in MBHR (BUSI *et al.*, 2013). Therefore MBHR is a heritable trait under the control of several genes involving probably several CytP450 genes (largest gene family in plants) and other unknown relevant genes.

Next-generation sequencing technologies provide many advantages for quantitative transcriptome-wide gene expression analyses (MOROZOVA and MARRA, 2008) and has the great advantage to be applied to non-model species such as weeds, as reference transcriptomes necessary for expression quantification can be obtained even when no previous transcriptome data are available. Long length reads (400-500 bp) obtained using the 454 pyrosequencing technology are useful for generating *de novo* reference transcriptomes (PENG *et al.*, 2010; RIGGINS *et al.*, 2010). Illumina HiSeq technology provides shorter reads and higher coverage, and is useful for the so-called RNA-Seq that enables transcript quantification even for genes expressed at a low rate (LISTER *et al.*, 2009). Using RNA-Seq transcriptome analysis of *L. rigidum* and genetic and physiological validation experiments, our objective was to identify and validate specific genes expressed in plants showing MBHR.

Material and Methods

The R population used for the reference transcriptome and for the RNA-Seq expression quantification experiment was reported by NEVE and POWLES (2005) and produced by recurrent selection at initially low doses of DFM. The Australian S population used in all studies was VLR1, also described for DFM response by NEVE and POWLES (2005). The R population was selected from its progenitor S population over three generations of recurrent selection (NEVE and POWLES, 2005). This provided a much higher level of similarity in genetic background than would be obtained by comparing a field R population with an unrelated S population, and enabled us to minimize genetic differences that were unrelated to the MBHR traits of interest (VILA-AIUB *et al.*, 2011). Individuals were vegetatively cloned by separating tillers and transplanting into separate pots. All plants were grown and treatments performed as described in GAINES *et al.* (submitted, Plant J.).

Reference Transcriptome

Twelve R individuals were vegetatively cloned and a single R individual was chosen for the reference transcriptome on the basis of surviving a $4 \times (1500 \text{ g ha}^{-1})$ DFM dose, lacking any ACCase

or ALS target site resistance mutations (measured using a pyrosequencing assay), and having increased DFM metabolism relative to S (measured through an in-vivo ^{14}C -DFM assay) (BEFFA *et al.*, 2012; YU *et al.*, 2013). Plant preparation, RNA extraction and cDNA library was performed as described in GAINES *et al.* (submitted). cDNA library inserts were prepared for sequencing using one pico-titer plate on the Roche/454 GS FLX+ Titanium platform (LGC Genomics, Berlin, Germany). Contig assembly was performed using Newbler with the following parameters: seed step 12, seed length 16, minimum overlap length 40, minimum overlap identity 90, alignment identity score 2, and alignment difference score -3. Gene Ontology assignment used the best BLAST hit with a cutoff value of $E \leq 1 \times 10^{-4}$.

RNA-Seq Expression Quantification

Four individuals each of R and S were vegetatively cloned. R individuals were selected for RNA-Seq as described for the reference transcriptome, including ACCase and ALS genotyping and DFM metabolism. S individuals were selected on the basis of not surviving a $1/2 \times$ (188 g ha^{-1}) DFM dose and having low DFM metabolism. Vegetative clones were used to produce three identically sized clones of each individual. The experimental design included four biological replications of R and S for control untreated, surfactant (mock) only, and $1 \times$ (375 g ha^{-1}) DFM treatments. Leaf samples for the untreated control were collected at time point 0, and leaf samples from the adjuvant only control and DFM treatments were collected 24 h after treatment application. Each sample consisted of a mixture of 4 cm of the newest emerging leaf, 2 cm of the stem below the whorl, and 2 cm of the first fully expanded leaf. Samples were frozen immediately in liquid nitrogen and pulverized for total RNA extraction. Libraries for Illumina HiSeq 2000 sequencing were prepared with 2 μg RNA following the Illumina TruSeq RNA prep protocols, including selection for main library size of 270-320 bp and an average RIN value of 6 (LGC Genomics). Illumina sequencing of 100 bp paired-end reads was conducted for the 24 samples using bar-coded adapters in 8 channels of the Illumina flow-cell, followed by read processing and analyses as described in detail (GAINES *et al.*, submitted).

Candidate MBHR Contig Selection and Relative Gene Expression Quantification

Contigs were selected on the basis of statistical significance, magnitude of expression differences, and annotations related to known herbicide metabolism genes and signaling functions. Contig sequences were used to design primers for PCR quantification of gene expression (GAINES *et al.*, submitted).

Forward Genetics Validation

A forward genetics approach was used to assess the linkage between candidate contig expression and resistance phenotype in a previously described F_2 population segregating for DFM resistance (BUSI *et al.*, 2013). Individuals from the F_2 were vegetatively cloned and assessed for resistance phenotype by treating individual clones with $1/2 \times$ (188 g ha^{-1}) and $1 \times$ (375 g ha^{-1}) DFM. Individuals were classified as susceptible (F_2 -S) if they did not survive the $1/2 \times$ treatment, and individuals were classified as resistant (F_2 -R) if they survived the $1 \times$ treatment and exhibited robust growth. Leaf samples for RNA extraction were collected from untreated clones of seven F_2 -S and nine F_2 -R, and qRT-PCR was conducted as previously described (GAINES *et al.*, submitted). Hierarchical clustering was conducted using Genedata Analyst (Genedata AG, Basel, Switzerland) with normalized qRT-PCR data (subtract contig $2^{-\Delta\text{CT}}$ mean and divide by contig standard error), Euclidean distance, and complete linkage.

Physiological Validation

Individuals from the S population were vegetatively cloned to produce four identical clones. A treatment with 2,4-D 24 h prior to DFM-treatment was used to induce protection against DFM as previously described (HAN *et al.*, 2013). The experimental design included an untreated control and 2,4-D (3 kg ha^{-1}) treatment. Vegetative clones of each individual were randomly assigned to treatment groups. Leaf samples were collected at the same time from the control and from the

2,4-D treatment (24 HAT). RNA extraction and relative expression quantification were performed as previously described using qRT-PCR. The experiment included seven biological replications.

Results

Reference Transcriptome

In order to conduct RNA-Seq experiments in *L. rigidum*, a reference transcriptome sequence was obtained using 454 pyrosequencing of a cDNA library developed from RNA of young seedling and cloned tissues from a single R individual in both untreated and DFM-treated conditions. Sequencing of one pico-titer plate produced 1,069,238 reads of average length 448 bp, with 405,875,904 bases sequenced in total. Assembly with Newbler (454 Life Sciences) resulted in 883,595 full assembled reads. In total 19,623 contigs greater than 100 bp in length were obtained and 12,450 contigs greater than 500 bp long, with an average contig size of 1,049 bp and an N50 contig size of 1,150. The total number of bases contained in the reference was 15,040,525, and 97.43% had a quality score higher than Q40 (less than 0.01% chance of error). These contigs were annotated using both UniProtKB (Uniprot Consortium, 2012) and Pfam (PUNTA *et al.*, 2012) databases with a cutoff value of $E \leq 1 \times 10^{-4}$, and the top 3 hits from each database were returned. Using these criteria, 56.7% of the 19,623 contigs had a hit in the Pfam database of protein families, and 74.5% had a hit in the UniProt database.

Quantitative Rt-PCR and Forward Genetic Validation

RNA-Seq analyses showed differential expression (DE) between R and S in all three treatments (untreated, mock, and DFM) for 278 contigs (GAINES *et al.*, submitted). Selected contigs included CytP450s and other contigs with oxidoreductase Gene Ontology molecular function, GSTs, GTs, and ABC transporters (Tab. 1). Any CytP450 contigs with >2-fold higher expression in R, but a non-significant *P*-value in the DESeq analysis were also selected (contigs 07659 and 12788). In addition, contigs were selected with annotations related to signaling pathways (e.g., protein kinase, phosphatase) and transcription factors, along with contigs having the largest fold-change expression differences but unknown annotations. DE was confirmed for 24 of them using quantitative real-time Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction (qRT-PCR). All selected contigs showed significant DE in RNA-Seq between R and S in the untreated condition, and 7 contigs were induced by DFM treatment in S (Tab. 2). qRT-PCR results were normalized as $2^{-\Delta C_t}$ using the method of SCHMITTGEN and LIVAK (2008) and two internal control genes determined to be stably expressed in all conditions using BestKeeper ($r^2 = 0.886$, $P = 0.001$) (PFAFFL *et al.*, 2004). Observed DE from the RNA-Seq experiment was validated by qRT-PCR for 24 of the 28 selected contigs (Tab. 1).

The 24 validated contigs were next evaluated using a forward genetics approach with an F_2 population derived from a cross of the R by S individuals. This F_2 population segregates for DFM resistance with multi-genic inheritance. Expression of the 24 contigs was evaluated in untreated clones of the seven F_2 -S and nine F_2 -R individuals. Within the 24 contigs with RNA-Seq results validated by qRT-PCR, 9 contigs had significant differences between F_2 -R and F_2 -S (Tab. 1). None of the 9 contigs were highly expressed in any F_2 -S individuals. These contigs included three CytP450s, a GT (UDP GT 73C6), three GSTs, a nitronate monooxygenase (NMO), and a contig with unknown function.

Tab. 1 Identification of differentially expressed contigs between diclofop-methyl resistant (R) and susceptible (S) *L. rigidum* using RNA-Seq, followed by forward genetics and physiological validation of transcriptional markers. Fold change in FPKM (fragments per thousand bases per million reads) and fold change in qRT-PCR relative gene expression validation of RNA-Seq data, calculated using the 2- Δ Ct method of Schmittgen and Livak (2008). For validation experiments, fold change in 2- Δ Ct between F2-R and F2-S untreated samples, and fold-change in 2- Δ Ct between 24 h after 2,4-D treatment and untreated. Control untreated (n), and diclofop-methyl treated (t). Nitronate monooxygenase (NMO), Glutathione transferase (GST), transcription factor (TF). P-value of < 0.05, 0.01, 0.001, and 0.0001 indicated by *, **, ***, and ****, respectively, from DESeq analysis (FPKM data) or GenePattern analysis (F2 and 2,4-D data). Fold change of 1 indicates no change, negative indicates down regulation; italic font indicates qRT-PCR did not confirm RNA-Seq data.

Tab.1 Unterschiedlich exprimierte Contigs zwischen Diclofop-methyl resistenten (R) und susceptiblen (S) *L. rigidum* in der RNA-Seq Transkriptom Analyse, in der Validierung durch „Forward Genetic“ sowie in der physiologischen Validierung. Unterschied (x-facher Unterschied) zwischen den FPKM-Werten (Fragmente pro Tausend-Basen pro Millionen Reads) und Unterschied in der Validierung der RNA-Seq Daten durch die relative Gene Expression überprüft durch qRT-PCR, berechnet durch die 2- Δ Ct Methode von Schmittgen und Livak (2008). In den Validierungsexperimenten: Unterschied in 2- Δ Ct zwischen unbehandelten F2-R und F2-S Proben, sowie Unterschied in 2- Δ Ct 24 h nach 2, 4-D Behandlung zwischen unbehandelten und mit 2, 4-D behandelten Proben. Kontrolle unbehandelt (n), und Diclofop-Methyl behandelten (t). Nitronat Monooxygenase (NMO), Glutathion-S-Transferase (GST), Transkriptions Faktor (TF). P-Wert < 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***) und 0.0001 (****) durch DESeq Analyse (FPKM Daten) oder GenePattern Analyse (F2 und 2,4-D Daten). Ein 1-facher Unterschied zeigt gleiche Expression, negative Werte zeigen eine niedrigere Expression an, qRT-PCR Werte die die RNA-Seq Daten nicht bestätigen sind in kursiver Schrift dargestellt.

Pfam Protein Family	Fold Change: RNA-Seq and qRT-PCR Validation						Validation Experiments	
	R _n /S _n		R _t /R _n		S _t /S _n		2- Δ Ct	Fold Change
	FPKM	2- Δ Ct	FPK	2- Δ Ct	FPK	2- Δ Ct	$\frac{F_2-R_n}{F_2-S_n}$	2,4-D n
CyP450, CYP72A	4*	4	2	2	10****	12	2*	32***
CytP450, CYP72A	9***	3	1	2	12****	6	2**	9***
NMO	13**	9	1	1	5***	5	5**	34****
Glucosyltransferase	7***	6	1	1	7***	3	8**	11***
GST, Tau class	7****	5	1	1	4**	2	5**	3**
GST, Phi class	6*	2	1	4	2	11	3**	12****
GST, Tau class	7**	>50	1	2	4*	35	8**	14*
Unknown	24****	>50	1	1	2	2	6**	1
CytP450, CYP716A	4*	5	2	1	1	1	2*	1
GST, Tau class	9*	>50	1	1	2	1	1	7*
GST, Phi class	3**	<i>l</i>	1	1	2	1		
Cellulose synthase	3**	<i>l</i>	1	1	3**	2		
Protein kinase	13**	>50	1	1	1	1	-2	1
Protein kinase	-13****	>50	1	1	1	1	-2	-2
Protein kinase	-9***	-17	1	1	1	1	1	1
Protein kinase	7****	2	1	1	1	1	2	1
Protein kinase	-10****	-11	1	1	1	1	1	1
Phosphatase	22****	>50	1	1	1	2	1	1
CytP450, CYP89A	2	12	1	-4	1	1	-5	1
CytP450, CYP71B	5	>50	1	5	1	1	2	2
Unknown	40****	>50	1	1	2	3	1	1
Zn finger TF	85*	>50	1	1	1	1	1	1
Heat shock protein	2*	2	1	2	2	3	1	1
2OG-Fc(II) oxygenase	43*	>50	4	1	1	2	-2	-5
O-methyltransferase	23*	>50	1	1	1	1	-2	-6
Cytochrome b5	8***	<i>l</i>	1	1	2	1		
ABC transporter	-20***	-6	1	1	1	1	-2	1
Cold acclimation protein	4***	<i>l</i>	1	1	1	1		

Physiological validation

We have established that protection against DFM phytotoxicity due to increased DFM metabolism is inducible by pre-treatment with the auxin mimic 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in the *L. rigidum* population used in our studies (HAN *et al.*, 2013). The 2,4-D induced DFM protected phenotype is similar to that observed in the R population, and due to the inducible nature, is conferred by induced gene expression and not by any altered enzymatic activity due to mutations in genes. Therefore, susceptible individuals were treated with 2,4-D and expression of the 24 contigs validated from the RNA-Seq experiment was evaluated 24 h after treatment in comparison to an untreated control sampled at the same time point. Eight contigs were highly and significantly ($P < 0.05$) induced by 2,4-D treatment (Tab. 1), including two CYP450s, NMO, GT, and four GSTs. Two contigs associated with resistance in the F₂ were not induced by 2,4-D, including the CYP716A (Tab. 1).

Discussion

Twenty-eight candidate contigs, selected based on a global RNA-Seq transcriptome analysis of MBHR *L. rigidum*, were subjected to two validation experiments. Seven contigs (two CYP72A, one NMO, one GT, 3 GST) were linked to the MBHR response in both experiments, using forward genetics, 2,4-D induced protection against DFM

Further evaluation using heterologous expression in yeast (CYP450s) and bacteria (others), or ideally transgenic expression in *Lolium*, is necessary to define the biochemical roles in DFM metabolism of the two CYP72A, NMO, three GST (two Tau class and one Phi class), and GT (UDP-GT 73C6) genes found in this study.

Changes in plant gene expression have been reported to occur through several mechanisms, including specific promoter motifs and/or transcription factors (*e.g.*, JEPSON *et al.*, 1994; BAERSON *et al.*, 2005), gene duplication (GAINES *et al.*, 2010), and heritable epigenetic changes in methylation of genes and promoters (SCHMITZ *et al.*, 2011). Protein activity of the identified genes may be subject to additional layers of regulation, such as protein translation regulation by long non-coding antisense RNA (CARRIERI *et al.*, 2012), or post-translational modifications. Future research will consider all these possibilities to determine the specific mechanism(s) that alter the heritable gene expression patterns in this MBHR *L. rigidum* population. To our knowledge, systematic study of endogenous genes involved in herbicide metabolic resistance was so far not been reported. This study represents a milestone towards a greater understanding of evolutionary and ecological functions of genetic traits that have major impacts on plant fitness and life history in the presence of herbicide selection.

The *L. rigidum* reference transcriptome enabled an RNA-Seq approach to successfully characterize transcriptomic level gene expression in a non-model species with no previously available sequence information. Our results also highlight the importance of hypothesis testing using forward genetics and physiological experiments for candidate genes identified by RNA-Seq.

References

- Baerson, S.R., A. Sanchez-Moreiras, N. Pedrol-Bonjoch, M. Schulz, I.A. Kagan, A.K. Agarwal, M.J. Reigosa and S.O. Duke, 2005: Detoxification and transcriptome response in Arabidopsis seedlings exposed to the allelochemical benzoxazolin-2(3H)-one. *J. Biol. Chem.* **280**, 21867-21881.
- Bèffa, R., A. Figge, L. Lorentz, M. Hess, B. Laber and J.P. Ruiz-Santaella, 2012: Weed resistance diagnostic technologies to detect herbicide resistance in cereal growing areas. A review. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 75.
- Busi, R., P. Neve and S. Powles, 2013: Evolved polygenic herbicide resistance in *Lolium rigidum* by low-dose herbicide selection within standing genetic variation. *Evol. Appl.* **6**, 231-242.
- Carrieri, C., L. Cimatti, M. Biagioli, A. Beugnet, S. Zucchelli, S. Fedele, E. Pesce, I. Ferrer, L. Collavin, C. Santoro, A.R.R. Forrest, P. Carninci, S. Biffo, E. Stupka and S. Gustincich, 2012: Long non-coding antisense RNA controls UCH1 translation through an embedded SINEB2 repeat. *Nature* **491**, 454-457.
- Gaines, T.A., W. Zhang, D. Wang, B. Bukun, S.T. Chisholm, D.L. Shaner, S.J. Nissen, W.L. Patzoldt, P.J. Tranel, A.S. Culpepper, T.L. Grey, T.M. Webster, W.K. Vencill, R.D. Sammons, J.M. Jiang, C. Preston, J.E. Leach and P. Westra, 2010: Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **107**, 1029-1034.

- Gaines, T.A., L. Lorenz, A. Figge, J. Herrmann, F. Maiwald, M.-Ch. Ott, H. Han, R. Busi, Q. Yu, S.B. Powles and R. Beffa, 2013: Metabolism-based herbicide resistance in *Lolium rigidum*: using RNA-Seq transcriptome analysis to identify resistance-endowing genes. Submitted.
- Han, H., Q. Yu, G.R. Cawthray and S.B. Powles, 2013: Enhanced herbicide metabolism induced by 2,4-D in herbicide susceptible *Lolium rigidum* provides protection against diclofop-methyl. *Pest Manag. Sci.* **69**, 996-1000.
- Heap, I. 2013. The international survey of herbicide resistant weeds. Available on-line: www.weedscience.com. Accessed October 17, 2013.
- Jepson, I., V.J. Lay, D.C. Holt, S.W.J. Bright and A. Greenland, 1994: Cloning and characterization of maize herbicide safener-induced cDNAs encoding subunits of glutathione S-transferase isoforms I, II and IV. *Journal of Plant Molecular Biology* **26**, 1855-1866.
- Lister, R., B.D. Gregory and J.R. Ecker, 2009: Next is now: new technologies for sequencing of genomes, transcriptomes, and beyond. *Curr Opin. Plant Biol.* **12**, 107-118.
- Morozova, O. and M.A. Marra, 2008: Applications of next-generation sequencing technologies in functional genomics. *Genomics* **92**, 255-264.
- Neve, P. and S. Powles, 2005: Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. *Theor. Appl. Gen.* **110**, 1154-1166.
- Peng, Y., L.L.G. Abercrombie, J.S. Yuan, C.W. Riggins, R.D. Sammons, P.J. Tranel and C.N. Stewart, 2010: Characterization of the horseweed (*Conyza canadensis*) transcriptome using GS-FLX 454 pyrosequencing and its application for expression analysis of candidate non-target herbicide resistance genes. *Pest Manag. Sci.* **66**, 1053-1062.
- Pfaffl, M.W., A. Tichopad, C. Prgomet and T.P. Neuvians, 2004: Determination of stable housekeeping genes, differentially regulated target genes and sample integrity: BestKeeper - Excel-based tool using pair-wise correlations. *Biotechnol. Lett.* **26**, 509-515.
- Powles, S.B. and Q. Yu, 2010: Evolution in action: Plants resistant to herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol.* **61**, 317-347.
- Preston, C., 2004: Herbicide resistance in weeds endowed by enhanced detoxification: complications for management. *Weed Sci.* **52**, 448-453.
- Punta, M., P.C. Coghill, R.Y. Eberhardt, J. Mistry, J. Tate, C. Boursnell, N. Pang, K. Forslund, G. Ceric, J. Clements, A. Heger, L. Holm, E.L.L. Sonnhammer, S.R. Eddy, A. Bateman and R.D. Finn, 2012: The Pfam protein families database. *Nuc. Acids Res.* **40**, D290-D301.
- Riggins, C.W., Y.H. Peng, C.N. Stewart and P.J. Tranel, 2010: Characterization of de novo transcriptome for waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) using GS-FLX 454 pyrosequencing and its application for studies of herbicide target-site genes. *Pest Manag. Sci.* **66**, 1042-1052.
- Schmittgen, T.D. and K.J. Livak, 2008: Analyzing real-time PCR data by the comparative CT method. *Nat. Protoc.* **3**, 1101-1108.
- Schmitz R.J., M.D. Schultz, M.G. Lewsey, R.C. O'Malley, M.A. Urlich, O. Libiger, N.J. Schork and J.R. Ecker, 2011: Transgenerational epigenetic instability is a source of novel methylation variants. *Science* **334**, 369-373.
- Uniprot Consortium, (2012) Reorganizing the protein space at the Universal Protein Resource (UniProt). *Nuc. Acids Res.* **40**, D71-D75.
- Vila-Aiub M.M., P. Neve and F. Roux, 2011: A unified approach to the estimation and interpretation of resistance costs in plants. *Heredity* **107**, 386-394.
- Yu Q., H. Han, G.R. Cawthray, S.F. Wang and S.B. Powles, 2013: Enhanced rates of herbicide metabolism in low herbicide-dose selected resistant *Lolium rigidum*. *Plant Cell Environ.* **36**, 818-827.

Molekulare Analyse der metabolischen Resistenz in Acker-Fuchsschwanz

Molecular analysis of metabolic resistance in blackgrass

Michael U. Höfer^{1*}, Friedrich Felsenstein², Maria Rosenhauer³ und Jan Petersen³

¹RLP AgroScience GmbH, AlPlanta, Breitenweg 71, 67435 Neustadt a.d. Weinstraße

²Epilologic GmbH, Hohenbachernstraße 19-21, 85354 Freising

³Fachhochschule Bingen, Berlinstraße 109, 55411 Bingen am Rhein Adresse(n)

*Korrespondierender Autor, michael.hoefer@agrosocietne.rlp.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.008

Zusammenfassung

Um Kandidatengene für die metabolische Herbizid-Resistenz zu erfassen, wurde mithilfe eines „Transcriptomics“-Ansatz ein quantitativer Vergleich der Genexpression zwischen sensitiven und resistenten Biotypen des Acker-Fuchsschwanzs (ALOMY) durchgeführt. Ausgehend von einem metabolisch resistenten Biotyp wurde im ersten Schritt mithilfe eines „paired-end“ RNA-Seq Protokolls ein Referenz-Transkriptom für ALOMY aus unbehandelten und Herbizid-behandelten Pflanzen erstellt. Im zweiten Schritt wurde die Genexpression in verschiedenen metabolisch resistenten ALOMY-Biotypen sowie in einer repräsentativen Auswahl an sensitiven Wildtyp-Biotypen mithilfe einer 3'-spezifischen RNA-Sequenzierung bestimmt und mit dem Referenztranskriptom abgeglichen. Durch Vergleich der Expressionshöhe einzelner Gene in Wildtyp und resistenten ALOMY Biotypen wurden Kandidatengene aus der Gruppe der Glutathion-Transferasen identifiziert. Weitere Analysen werden notwendig sein, um eine enge Korrelation mit der metabolischen Resistenz zu verifizieren.

Stichwörter: ALOMY, Acker-Fuchsschwanz, Glutathion S-Transferase, MACE, metabolische Resistenz, Referenztranskriptom

Abstract

A transcriptomics approach was chosen in order to determine candidate genes for metabolic herbicide resistance in a quantitative comparison of expressed genes in sensitive wild type and resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides* = ALOMY) plants. Firstly a reference transcriptome for blackgrass was established by means of a paired-end RNA-Seq protocol prepared from control and herbicide treated plants from a metabolic resistant biotype. Secondly gene expression was measured in different metabolic resistant ALOMY biotypes and a representative selection of sensitive wild type plants using a 3'-specific RNA sequencing strategy and related to the reference transcriptome. By comparing expression levels for individual genes in wild type and resistant blackgrass biotypes candidate genes from the group of glutathione transferases were identified. Further analyses will be necessary in order to verify a close correlation with the metabolic resistance.

Keywords: ALOMY, blackgrass, MACE, non-target site resistance, reference transcriptome, RNA-Seq

Einleitung

Der Acker-Fuchsschwanz (ALOMY) ist im Wintergetreide eines der wichtigsten Unkräuter in Westeuropa. Seine Anpassung an herbizide Wirkstoffe beruht bei resistenten ALOMY Populationen nicht nur auf „Target-Site“-Mutationen der Herbizid-Bindestellen der gut untersuchten Zielgene Acetolactat-Synthase (ALS) und Acetyl-CoA-Carboxylase (ACCCase), sondern zu einem erheblichen Teil auch auf einer breiteren Nicht-Zielort-Resistenz (NTSR). Die daran beteiligten Mechanismen sind vielfältig und beinhalten eine verstärkte Metabolisierung von Herbiziden sowie Kompensationsreaktionen von schädlichen Folgeprodukten wie freien Sauerstoffradikalen (DÉLYE, 2013; YUAN *et al.*, 2007). Die molekularen Ursachen für die metabolischen Resistenzen sind z. Zt. noch weitgehend unbekannt. Es gibt jedoch vermehrt Hinweise, dass je nach Wirkstoffklasse unterschiedliche enzymatische Systeme - und höchstwahrscheinlich auch Kombinationen davon - beteiligt sein können, wie z. B. Glutathion-Transferasen, Peroxidasen, Cytochrom P450 Monooxygenasen oder Glykosyl-Transferasen; häufig Multi-Genfamilien, aus denen durch wiederholte Herbizidanwendung einzelne mutierte Allele selektiert und angereichert werden können (CUMMINS *et al.*, 1997; HALL *et al.*, 1995; LETOUZE und GAZQUES, 2003; PRESTON, 2004; POWELS und YU, 2010). Genetische Untersuchungen zeigen, dass in

metabolisch resistenten Populationen von Acker-Fuchsschwanz und *Lolium* Resistenzgene dominant oder rezessive vererbt werden und mehrere verschiedene Gene dabei zusammenspielen können (LETOUZÉ und GASQUEZ, 2001; PETIT *et al.*, 2010; BUSI *et al.*, 2013). Außerdem können Resistenzgene konstitutiv oder Herbizid-induziert exprimiert werden (PETIT *et al.*, 2012; DOHOUX und DÉLYE, 2013). Für eine Glutathion-Transferase mit Peroxidase Aktivität wurde gezeigt, dass das zugehörige Gen differentiell auf Transkript- und Proteinebene in dem resistenten Biotyp Peldon im Vergleich zum sensitiven Wildtyp hochreguliert ist (CUMMINS *et al.*, 1999). Es ist daher naheliegend, in resistenten Biotypen mit einer diagnostizierten NTSR mit einem globalen „Screening“-Ansatz nach solchen Genen zu suchen, deren Expressionsverhalten sich vom Wildtyp unterscheidet, um so mögliche Kandidaten aufzuspüren, die für metabolische Resistenz verantwortlich sind.

Die sog. „next generation“-Sequenzieretechnologien („NGS“) wurden in den letzten Jahren soweit verbessert, dass sie sich inzwischen als globales Analyseverfahren gerade für molekularbiologisch weitgehend unbearbeitete Organismen wie ALOMY anbieten (METZKER, 2010). Die Transkriptomik ist dabei nicht auf die Entschlüsselung des oftmals sehr komplexen Erbgutes/Genoms angewiesen, sondern setzt direkt an der Genexpression, d. h. an der Globalanalyse aller erfassbaren Transkripte an (WANG *et al.*, 2009; BRÄUTIGAM und GOWIK, 2010) und ist u. a. wegen ihrer hohen Sensitivität und ihrem breiten dynamischen Bereich zur Erfassung von Transkripten unterschiedlicher Abundanzen herkömmlichen Methoden wie Microarrays weit überlegen. Zum Screening von Herbizidresistenz-assoziierten Genen wurde daher ein genomweiter Transkriptomansatz mit unterschiedlich resistenten und sensitiven ALOMY Biotypen etabliert.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

Für das ALOMY Referenz-Transkriptom wurde Gewächshausmaterial von F1-Pflanzen aus einer Kreuzung zweier Einzelpflanzen einer multiresistenten Herkunft (710 A x 710 B) verwendet, für die bekannte Zielortresistenzen über Pyro-Sequenzierung ausgeschlossen wurden (Rosenhauer *et al.* 2013). Der Auswahl der Eltern ging eine Selektion mit 500 g/ha Atlantis WG (Wirkstoffe: Iodosulfuron + Mesosulfuron) + 1,0 l/ha FHS voraus. F1-Pflanzen wurden sieben Wochen nach der Keimung vegetativ vermehrt und fünf resultierende Klone abzüglich einer Kontrollpflanze nach einer weiteren Woche mit 500 g/ha Atlantis WG + 1,0 l/ha FHS behandelt. Blattmaterial der drei behandelten Klone wurden jeweils 4 h, 8 h und 25 h nach Behandlung in Flüssigstickstoff eingefroren, die Ernte des Blattmaterials des unbehandelten Klons (u.) erfolgte zeitgleich mit dem 4h-Wert. Der verbliebene behandelte Klon diente der Verifizierung der Resistenz.

Für die Genexpressionsanalysen wurden sechs resistente Biotypen (710, 601, Elbe, ST44, ST26 und 9509) ausgewählt und parallel unter Gewächshausbedingungen in sandiger Lehmerde mit ca. 2 % organischen Material bei zusätzlicher Beleuchtung von 300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-2}$ zwischen 07:00 bis 10:00 und 16:00 bis 19:00 angezogen.

Von jeder Herkunft wurden mehrere Pflanzen ausgesät und nach 7 Wochen klonal vermehrt. Zwei Klone jeder Herkunft wurden eine Woche später mit 1,2 l/ha Ralon Super (Biotypen: 9509, ST44, ST26 und 601) bzw. mit 500 g/ha Atlantis WG (Biotypen: Elbe und 710) behandelt und von einem Klon vier Stunden nach der Behandlung Blattmaterial geerntet und in Flüssigstickstoff konserviert. Der verbliebene behandelte Referenz-Klon wurde zur Verifizierung der Resistenz verwendet. Zeitgleich wurden auch Blätter unbehandelter Klone jeder Herkunft geerntet und kryokonserviert.

Repräsentativ für den Wildtyp wurden zeitgleich mit den resistenten Biotypen 30 verschiedene sensitive Biotypen ausgesät, kloniert und zum gleichen Zeitpunkt behandelt bzw. kryokonserviert. Die Behandlung der Hälfte der Klone erfolgte mit 1,2 l/ha Ralon Super, die andere Hälfte diente als unbehandelte Kontrolle. Blattprobenahme und Bonitierung von Referenz-Klonen erfolgten wie für die resistenten Biotypen.

Die Herbizid-Applikationen erfolgten mit einem Spritzautomat (SCHACHTNER) mit den Einstellungen 250 l/ha Wasser, 2,5 km/h, 2,5 bar und einer Düse TEE JET 9502EVS 45 cm über den Pflanzen. Die Bonitierung erfolgte jeweils vier Wochen nach Behandlung der Pflanzen. Es wurden nur Pflanzen für die RNA-Isolation verwendet, deren Resistenz bzw. Sensitivität durch die Bonitierung ihres Klons bestätigt werden konnte.

RNA-Isolation und QC

Gesamtblattmaterial von *A. myosuroides* wurde unter Flüssigstickstoff-Bedingungen mit einer Zelmühle (MM200, Retsch, Haan) bei 30 Hz für 2 min pulverisiert und mit dem RNAeasy Plant Mini-Kit (Qiagen, Hilden) die Gesamt-RNA isoliert. Aliquote dieser RNA wurden zur Eliminierung von kontaminierenden gDNA-Resten mit Baseline-Zero™ DNase (Biozyme Scientific GmbH, Hessisch Oldendorf) nach Herstellerangaben behandelt, über MinElute Cleanup-Kit (Qiagen, Hilden) aufgereinigt und abschließend photometrisch vermessen (ND-1000, NanoDrop Technologies, Wilmigton, USA). Für alle zu sequenzierenden RNA-Proben wurde die RNA-Integrity-Number-Werte mithilfe eines 2100 Bioanalyzer (Agilent Technologies, Waldbronn) bestimmt.

Normalisierte cDNA, Sequenzierung und Bioinformatik

cDNA aus *A. myosuroides* für den 4 h- und 8 h-Wert wurde nach ihrer Umschreibung aus mRNA mittels oligo-(dT)-Nukleotiden, mithilfe einer Doppelstrang-spezifischen Nuklease (DSN) zur Reduktion häufiger Transkripte nach einem ähnlich zu dem von BOGDANOVA *et al.* (2010) beschriebenen Verfahren normalisiert und vor Adaptor-Ligation mit Ultraschall fragmentiert. Die Gesamt-RNA der unbehandelten Pflanze und aus der 25 h-Probe wurde mithilfe des Ribo-Zero rRNA Removal Kits (Plant Leaf, Epicentre, Biozyme Scientific GmbH, Hessisch Oldendorf) behandelt. Aus den angereicherten mRNAs wurden nach Zink-Fragmentierung (WERY *et al.*, 2013) und direkter Adapter-Ligation RNA-Seq-Bibliotheken hergestellt. Die normalisierten cDNAs und die resultierenden RNA-Seq Bibliotheken wurden von beiden Seiten her (= paired end) mit je 100 bp auf einem HiSeq2000 Gerät sequenziert. Kumulativ standen aus allen vier Bibliotheken nach Duplikatebereinigung und Aussortieren von qualitativ minderwertigen Sequenzen sowie Adaptersequenzen etwa 430 Megabasen an Sequenzinformation zur Verfügung. Die Qualitätsbereinigten Einzelsequenzen wurden mittels Trinity (GRABHERR *et al.*, 2011) und CAP3 (HUANG und MADAN, 1999) *de novo* zu Contigs zusammengefügt. Zur funktionellen Annotation wurden diese mit Hilfe der Datenbanken SwissProt und TrEMBL (Uniprot) mit dem BLASTX Algorithmus (NCBI, Bethesda MD, USA) analysiert. Die Probenvorbereitung und Bioinformatik fanden bei der GenXPro GmbH (Frankfurt am Main) statt.

MACE (Massive Analysis of cDNA Ends)

Massive Analysis of cDNA Ends (MACE) Bibliotheken wurden nach dem von der GenXPro GmbH entwickelten Verfahren hergestellt, wie beschrieben in ZAWADA *et al.* (2013) und mit 1x 100 bp reads auf einer Illumina HiSeq2000 Lane sequenziert. Nach Aussortieren qualitativ minderwertiger Sequenzen sowie dem Aussortieren von Adaptersequenzen mit „TagDust“ (LASSMANN *et al.*, 2009) wurden die einzelnen MACE Sequenzen der verschiedenen Bibliotheken mithilfe des Referenztranskriptoms annotiert, die Häufigkeit der verschiedenen Transkripte ermittelt und auf „reads per million“ normalisiert.

Analysen ausgewählter annotierter Referenz-Contigs und MACE-Contigs erfolgten mit dem Lasergene Core Suite Software-Paket V.10 (DNASTAR Inc. Madison, USA).

Ergebnisse

ALOMY Referenztranskriptom

Als Basis für die Genexpressionanalysen in Acker-Fuchsschwanz wurde zuerst ein Referenz-Transkriptom aus einer F1-Pflanze eines multi-resistenten Biotyps hergestellt. Um den Anteil an heterozygoten Allelen zu reduzieren, wurde dazu ein Kreuzungsschritt vorgeschaltet, was für die Assemblierung der RNASeq-Daten von Vorteil ist (BRÄUTIGAM und GOWIK, 2010). Von dem F1-Individuum wurden vier Klone hergestellt, von denen drei nach 4, 8 und 25 h nach einer

Tab. 2 Contig-Treffer nach Schlagwortsuche im Referenztranskriptom.

Tab. 2 Contig-hits by keywords in the reference transcriptome.

Kontext	Gen (-Familie/-Superfamilie)	Contig-Treffer
Target-Site Resistenz	Acetyl-CoA-Carboxylase	21
	Acetolactat-Synthase	7
Metabolische Resistenz	ABC-Transporter	303
	Cytochrom P450 Monooxygenasen	347
	Glutathion-S-Transferase	148
	Glutathion Peroxidase	9
	Peroxidase	207
	Glykolsyl-Transferase	216
Diverse	Actin (inkl. „actin-related“)	22 (50)
	Elongation Factor 1-alpha	22
	Chlorophyll a-b binding protein (CAB)	27
	Ribulose biphosphate carboxylase small chain, rbcS	2
	Rezeptor-like Protein Kinase	2855
	Transcriptionsfactor	1066

Um einen Überblick über die Situation für die Genfamilie der Glutathion-S-Transferasen zu erhalten, wurden alle 148 identifizierten Contigs den fünf Klassen zugeordnet und miteinander verglichen. Tabelle 3 zeigt den Vergleich mit der Situation in Reis (*O. sativa*) und *Arabidopsis* nach CUMMINS *et al.* (2011) und DIXON und EDWARDS (2010). Die Anzahl der Contigs verringerte sich dadurch von 148 auf 85.

Tab. 3 Glutation-Transferasen im Referenztranskriptom.

Tab. 3 Glutathione transferases in the reference transcriptome.

Glutathion-Transferase Klassen	<i>A. myosuroides</i> (Contigs*)	<i>O. sativa</i> (Gene)	<i>A. thaliana</i> (Gene)
GSTF (Phi)	21	16	13
GSTU (Tau)	39	52	28
GSTT (Theta)	18	1	3
GSTZ (Zeta)	6	4	2
GSTL (Lambda)	1	3	1

* nach Clusteranalyse mit SeqManPro-Modul der Lasergene Core Suite
MACE-Expressionsanalyse

Um Kandidatengene für die metabolische Herbizidresistenz zu identifizieren, deren Expression sich deutlich von der im sensitiven Wildtyp unterscheidet, wurde mit einem 3'-spezifischen MACE-RNaseq-Ansatz die globale Genexpression in 6 gut charakterisierten Biotypen mit unterschiedlichen metabolischen Resistenzmustern (ROSENHAUER und PETERSEN, persönliche Mitteilung, unveröffentlicht) gemessen und mit einem repräsentativen Pool sensitiver Biotypen verglichen. Bei MACE wird von jedem Transkript-Molekül lediglich ein Fragment des 3' Endes sequenziert (=MACE-tag). Somit erhöht sich die Abdeckung mit Sequenzen für den 3'-Bereich, was außerdem eine geringere Sequenzierentiefe erfordert, um selten exprimierte und kurze Transkripte zu erfassen (KAHL *et al.*, 2012). Für jede Herkunft wurden mehrere Pflanzen kloniert und jeweils ein Klon unbehandelt als auch ein Klon nach Herbizidapplikation analysiert. Nur solche Pflanzen wurden verwendet, deren behandelter Referenzklon in der Bonitur den erwarteten Phänotyp zeigte. Die MACE-Sequenzierung lieferte zwischen 7,2 bis 14,2 Millionen kurze DNA-Sequenzen,

Tab. 4 MACE-Expressionsdaten für 3 putative Glutathion-S-Transferasen.

Tab. 4 MACE-Expression data for 3 putative Glutathione-S-transferases.

[rpm]	601 u	Elbe u	710 u	9509 u	ST44 u	ST26 u	WT u
	15	9	13	6	6	7	30
Contig11971	133,2	71,7	125,8	51,0	20,4	53,0	4,7
Comp39196	118,3	45,0	85,1	24,5	11,0	42,3	3,4
Comp40008	97,1	40,4	73,7	22,8	15,5	29,1	5,8

a: normalisierte MACE reads unbehandelte Biotypen

a: normalised MACE reads of untreated biotypes

[rpm]	601 +	Elbe +	710 +	9509 +	ST44 +	ST26 +	WT +
	15	9	13	6	6	7	30
Contig11971	279,4	204,3	145,9	125,3	200,6	308,4	45,4
Comp39196	207,1	117,6	127,9	70,4	125,0	245,3	31,8
Comp40008	162,8	67,3	102,2	50,8	36,9	92,8	21,6

b: normalisierte MACE reads, Biotypen 4 h nach Herbizid-Applikation

b: normalised MACE reads of biotypes 4 h after herbicide application

	601	Elbe	710	9509	ST44	ST26	WT
Contig11971	2,1	2,8	1,2	2,5	9,8	5,8	9,7
Comp39196	1,8	2,6	1,5	2,9	11,3	5,8	9,5
Comp40008	1,7	1,7	1,4	2,2	2,4	3,2	3,7

c: Expressionsverhältnis [rpm mit] / [rpm ohne] Herbizidbehandlung

c: expression ratio [rpm with] / [rpm without] herbicide treatment

	601 u	Elbe u	710 u	9509 u	ST44 u	ST26 u
Contig11971	28,6	15,4	27,0	10,9	4,4	11,4
Comp39196	35,3	13,4	25,4	7,3	3,3	12,6
Comp40008	16,8	7,0	12,8	3,9	2,7	5,0

d: Expressionsverhältnis [rpm] Resistenter Biotyp / [rpm] Wildtyp; ohne Herbizidbehandlung

d: expression ratio [rpm] resistant biotype / [rpm] wild type; without herbicide treatment

	601 +	Elbe +	710 +	9509 +	ST44 +	ST26 +
Contig11971	6,2	4,5	3,2	2,8	4,4	6,8
Comp39196	6,5	3,7	4,0	2,2	3,9	7,7
Comp40008	7,5	3,1	4,7	2,3	1,7	4,3

e: Expressionsverhältnis [rpm] Resistenter Biotyp / [rpm] Wildtyp nach Herbizidbehandlung

e: expression ratio [rpm] resistant biotype / [rpm] wild type; after herbicide treatment

sog. „reads“, für die 14 Einzelproben (d. h. 6 resistente Biotypen, 1 Wildtyp-Pool, jeweils mit Herbizid behandelt bzw. unbehandelte Kontrolle), die den Contigs des Referenztranskriptoms zugeordnet wurden. Das Filtern auf Contigs mit mehr als 50 „reads“ in mindestens einer der 14

Proben ergab im Gesamtvergleich 31877 unterschiedliche Contigs die nach Normalisierung der „read“-Häufigkeiten je Contig auf „reads“ pro Million (rpm) zur Auswertung weiterverwendet wurden. Aus diesen MACE-Daten konnten 134 Einträge für Glutathion-S-Transferasen (GST) herausgefiltert werden. Tabelle 4 zeigt ein Beispiel für drei verschiedene Contigs, die aufgrund ihrer Sequenz zur Tau-Klasse (Contig11971 und Comp39196) bzw. zur Phi-Klasse (Comp40008) der GSTs zugeordnet werden konnten. Tabelle 4a und Tabelle 4b geben die normalisierten MACE-tag Werte für die unbehandelten (u) bzw. die mit Herbizid behandelten (+) Biotypen wieder. Alle drei GST-Contigs wurden durch die Herbizid-Behandlung induziert (Tab.4c), allerdings zeigten die resistenten Biotypen 601, Elbe, 710 und 9509 im Verhältnis einen deutlich geringen Induktionsgrad als der Wildtyp (WT) und die resistenten Biotypen ST44 und ST26. Im direkten Vergleich der Expressionshöhe wiesen alle verschiedenen resistenten Biotypen (Tab.4d und 4e) eine deutlich höhere Expression als der sensitive Wildtyp auf, wobei die Unterschiede im Herbizid-behandelten Zustand geringer werden. Die größten Unterschiede zum sensitiven Wildtyp wiesen die resistenten Biotypen 601, Elbe und 710 im unbehandelten Zustand auf (Tab. 4d).

Diskussion

Ein *de novo* Transkriptom von Acker-Fuchsschwanz bildet die Grundlage, Gene für die metabolische Herbizidresistenz zu identifizieren. Ähnliche Ansätze wurden (PENG *et al.*, 2010) und werden derzeit verfolgt (GARDIN *et al.*, 2013). Die vorliegende vergleichende Transkriptomanalyse von sechs Herbizid-resistenten Acker-Fuchsschwanz Biotypen hat zur Identifizierung von drei Glutathion-S-Transferasen geführt, deren Expressionshöhe im Vergleich zum sensitiven Wildtyp deutlich erhöht ist. Comp40008 entspricht einer AmGSTF1, von der schon eine differentielle Expression in dem resistenten ALOMY-Biotyp Peldon beschrieben wurde und die aufgrund ihrer Peroxidase-Aktivität zum generellen Schutz vor Herbizid-induziertem oxidativen Stress beiträgt (CUMMINS *et al.*, 1999). Es konnte außerdem gezeigt werden, dass AmGSTF1 in transgenen *A. thaliana* eine direkte regulatorische Funktion auf den Stoffwechsel ausübt, der in der Akkumulation von schützenden Flavonoiden resultiert (CUMMINS *et al.*, 2013). Es liegt daher nahe, zu vermuten, dass die erhöhte Expression der drei identifizierten GSTs Teil eines Resistenzmechanismus ist, der in den untersuchten resistenten Biotypen vorhanden aber unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Da diese Biotypen unterschiedliche multiple Resistenz- und Kreuzresistenzmuster aufweisen (ROSENHAUER und PETERSEN, pers. Mitteilung), ist zu vermuten, dass weitere Biotyp-spezifische Kombinationen von Resistenzgenen existieren, die in der Summe ihrer Wirkung den Resistenzphänotyp ausmachen. Zur Aufklärung dieser Zusammenhänge werden Validierungen von Kandidatengenen über qPCR durchgeführt sowie in „Bulked Segregant Analysen“ (QUARRIE *et al.*, 1999) MACE Analysen anhand von ausgewählten Pools aus aufspaltenden Populationen untersucht, die aus der Kreuzung von o.g. resistenten Biotypen mit dem sensitiven Wildtyp stammen.

Danksagung

Die beschriebenen Arbeiten wurden im Rahmen eines AiF geförderten ZIM-Projektes mit dem Titel „Neue Werkzeuge für die Diagnose der metabolischen Resistenz in Ackerfuchsschwanz“, Förderkennzeichen: KF 2448406 MD1 durchgeführt.

Literatur

- BOGDANOVA, E.A., I. SHAGINA, E.V. BARSOVA, I. KELMANSON, D.A. SHAGIN und S.A. LUKYANOV, 2010: Normalizing cDNA libraries. *Curr Protoc Mol Biol*. Chapter 5, Unit 5.12.1-27.
- BRÄUTIGAM, A. und U. GOWIK, 2010: What can next generation sequencing do for you? Next generation sequencing as a valuable tool in plant research. *Plant Biol*. **12**(6), 831-841.
- BUSI, R., P. NEVE und S. POWLES, 2013: Evolved polygenic herbicide resistance in *Lolium rigidum* by low-dose herbicide selection within standing genetic variation. *Evol. Appl*. **6**(2), 231-242.
- CUMMINS, I., D.J. COLE und R. EDWARDS, 1999: A role for glutathione transferase functioning as glutathione peroxidase in resistance to multiple herbicides in black-grass. *Plant J*. **18**, 285-292.
- CUMMINS, I., D. N. BRYANT und R. EDWARDS, 2009: Safener responsiveness and multiple herbicide resistance in the weed black-grass (*Alopecurus myosuroides*). *Plant Biotechnol. J*. **7**(8), 807-820.

- CUMMINS, I., D.P. DIXON, S. FREITAG-POHL, M. SKIPSEY und R. EDWARDS, 2011: Multiple roles for plant glutathione transferases in xenobiotic detoxification. *Drug Metab. Rev.* **(43)2**, 266-80.
- CUMMINS, I., D.J. WORTLEY, F. SABBADIN, Z. HE, C.R. COXON, H.E. STRAKER, J.D. SELLARS, K. KNIGHT, L. EDWARDS, D. HUGHES, S.S. KAUNDUN, S.J. HUTCHINGS, P.G. STEEL und R. EDWARDS, 2013: Key role for a glutathione transferase in multiple-herbicide resistance in grass weeds. *Proc Natl Acad Sci U S A.* **110**(15), 5812-5817.
- DÉLYE, C., 2013: Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. *Pest Manag Sci.* **69**(2), 176-187.
- DIXON, D.P. und R. EDWARDS, 2010: Glutathione transferases. In: *The Arabidopsis Book* 8:e0131. 10.1199/tab.0131.
- DOHOUX, A. und C. DÉLYE, 2013: Reference Genes to Study Herbicide Stress Response in *Lolium* sp.: Up-Regulation of P450 Genes in Plants Resistant to Acetolactate-Synthase Inhibitors. *PLoS One.* 2013, **8**(5), e63576.
- GARDIN, J., R. BEFFA, J. GOUZY, S. CARRÈRE und C. DÉLYE, 2013: A transcriptomics-based approach enables the first identification of candidate genes involved in non-target-site-based resistance to herbicides in a grass weed (*Alopecurus myosuroides*) Global Herbicide Resistance Challenge Conference, Program and Abstracts.
- GRABHERR, M.G., B.J. HAAS, M. YASSOUR, J.Z. LEVIN, D.A. THOMPSON, I. AMIT, X. ADICONIS, L. FAN, R. RAYCHOWDHURY, Q. ZENG, Z. CHEN, E. MAUCELI, N. HACHOEN, A. GNIRKE, N. RHIND, F. DI PALMA, B.W. BIRREN, C. NUSBAUM, K. LINDBLAD-TOH, N. FRIEDMAN und A. REGEV, 2011: Full-length transcriptome assembly from RNA-seq data without a reference genome. *Nat Biotechnol.* **15**, **29**(7), 644-52.
- HUANG, X. und A. MADAN, 1999: CAP3: A DNA sequence assembly program. *Genome Res.*, **9**, 868-877.
- KAHL, G., C. MOLINA, B. ROTTER, R. JÜNGLING, A. FRANK, N. KREZDORN, K. HOFFMEIER und P. WINTER, 2012: Reduced representation sequencing of plant stress transcriptomes. *J. Plant Biochemi Biotech* (21) 1, Supplement, pp 119-127.
- LASSMANN, T., Y. HAYASHIZAKI und C.O. DAUB, 2009, TagDust - A program to eliminate artifacts from next generation sequencing data. *Bioinformatics.* **1**, **25**(21), 2839-40.
- LETOUZE, A. und J. GASQUEZ, 2001: Inheritance of fenoxaprop-P-ethyl resistance in a blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) population. *Theor. Appl. Genet.* **103**(2), 288-296.
- LETOUZE, A. und J. GASQUEZ (2003): Enhanced activity of several herbicide-degrading enzymes: a suggested mechanism responsible for multiple resistance in blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) *Agronomie* **23**, 601-608.
- LI, G., S. G. WU, R. X. YU, T. CANG, L.P. CHEN, X.P. ZHAO, L.M. CAI und C. X. WU, 2013: Identification and expression pattern of a glutathione S-transferase in *Echinochloa crus-galli*. *Weed Research* **53**(5), 314-321.
- METZKER, M. L., 2010: Sequencing technologies - the next generation. *Nat Rev Genet* **11**(1), 31-46.
- PENG, Y., L.L. ABERCROMBIE, J.S. YUAN, C.W. RIGGINS, R.D. SAMMONS, P.J. TRANEL und C.N. STEWART JR., 2010: Characterization of the horseweed (*Conyza canadensis*) transcriptome using GS-FLX 454 pyrosequencing and its application for expression analysis of candidate non-target herbicide resistance genes. *Pest Manag. Sci.* **66**(10), 1053-1062.
- PETIT, C., B. DUHIEU, K. BOUCANSAUD und C. DÉLYE, 2010: Complex genetic control of non-target-site-based resistance to herbicides inhibiting acetyl-coenzyme A carboxylase and acetolactate-synthase in *Alopecurus myosuroides* Huds. *Plant Science* **178**(6), 501-509.
- PETIT, C., F. PERNIN, J.M. HEYDEL und C. DÉLYE, 2012: Validation of a set of reference genes to study response to herbicide stress in grasses. *BMC Res. Notes* **5**, 18.
- QUARRIE, S. A., V. LAZIC-JANCIC, D. KOVACEVIC, A. STEED und S. PEKI, 1999: Bulk segregant analysis with molecular markers and its use for improving drought resistance in maize. *J. Exp. Bot.* **50**(337), 1299-1306.
- ROSENHAUER, M., B. JASER, F.G. FELSENSTEIN und J. PETERSEN, 2013: Development of target-site resistance (TSR) in *Alopecurus myosuroides* in Germany between 2004 and 2012. *J. Plant Diseases and Protection* **120**, 179-187.
- POWLES, S.B. und Q. YU, 2010: Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol.* **61**, 317-47.
- WERY, M., M. DESCRIMES, C. THERMES, D. GAUTHERET und A. MORILLON, 2013: Zinc-mediated RNA fragmentation allows robust transcript reassembly upon whole transcriptome RNA-Seq. *Methods* **63**(1), 25-31.
- YUAN, J.S., P.J. TRANEL und C.N. STEWART JR., 2007: Non-target-site herbicide resistance: a family business. *Trends Plant Sci.* **12**(1), 6-13.
- ZAWADA, A.M., K.S. ROGACEV, S. MULLER, B. ROTTER, P. WINTER, D. FLISER und G.H. HEINE, 2013: Massive Analysis of cDNA Ends (MACE) and miRNA expression profiling identifies proatherogenic pathways in chronic kidney disease MACE and miRNA profiling in CKD. *Epigenetics* Nov 1; **9**(1).

Is hormesis an underestimated factor in the development of herbicide resistance?

Ist Hormesis ein unterschätzter Faktor bei der Entwicklung von Herbizidresistenz?

Regina G. Belz

University of Hohenheim, Agroecology Unit (380b), 70593 Stuttgart, Germany
regina.belz@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.009

Abstract

The growing impact of herbicide resistant weeds increasingly affects weed management and the delay of resistance evolution has become a major task of chemical weed control. Hormesis and, thus, the phenomenon that low doses of herbicides can boost weed growth could be of importance in this regard since the recommended field rate may represent a low dose for weeds that have evolved resistance to the applied herbicide and, thus, a potential hormetic dose. Applying the field rate may thus not only directly select resistant biotypes, it may also indirectly promote the success and spread of resistant biotypes via hormesis. Nevertheless, hormetic effects in resistant weeds are hitherto merely randomly observed and, thus, a clear quantitative basis to judge the significance of hormesis for resistance evolution is lacking. Therefore, this study aimed at quantifying the degree and frequency of herbicide hormesis in sensitive and resistant weed species in order to provide a first indication of whether the phenomenon deserves consideration as a potential factor contributing to the development of herbicide resistance. In germination assays complete dose-response experiments were conducted with sensitive and resistant biotypes of *Matricaria inodora* (ALS-target-site resistant; treated with iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl), *Eleusine indica* (glyphosate-resistant; treated with glyphosate), and *Chenopodium album* (triazine/triazinone-target-site resistant; treated with terbuthylazine). After 10 days of cultivation under controlled conditions plant growth was analyzed by measuring shoot/root length and mass. Results indicated that herbicide hormesis occurred on average with a total frequency of 29% in sensitive/resistant biotypes with an average growth increase of 53% occurring typically within a dose zone exceeding 350fold. Hormetic effects occurred, however, very variable and only for specific endpoints and not plant growth in general. If such a variable stimulation of specific traits will translate to resistance relevant growth promotion under more practical conditions is uncertain. None-the-less, for a full understanding of the development of herbicide resistance, hormetic effects should be considered as a potential factor in resistance evolution.

Keywords: Biphasic, growth stimulation, herbicides, target-site resistance

Zusammenfassung

Der wachsende Einfluss der Herbizidresistenz in Unkräutern erschwert zunehmend das Unkrautmanagement und das Hinauszögern der Resistenzentwicklung ist zu einem wichtigen Aspekt der chemischen Unkrautkontrolle geworden. Hormesis und damit das Phänomen, dass niedrige Dosierungen von Herbiziden das Unkrautwachstum fördern können, könnte in diesem Zusammenhang von Bedeutung sein, da die empfohlene Aufwandmenge für resistente Unkräuter eine niedrige Dosis und somit eine hormetische Dosis darstellen kann. Eine Applikation der empfohlenen Aufwandmenge könnte somit nicht nur direkt resistente Biotypen selektieren, sondern die Ausbreitung von resistenten Biotypen durch Hormesis indirekt fördern. Bisher wurden hormetische Effekte bei resistenten Unkräutern allerdings nur zufällig beobachtet, sodass die Datenbasis nicht ausreicht, um die Relevanz hormetischer Effekte für die Resistenzentwicklung abzuschätzen. Ziel dieser Studie war es deshalb, das Ausmaß und das Auftreten von Hormesis in sensitiven und resistenten Unkrautbiotypen zu untersuchen, um einen Hinweis darauf zu erhalten, ob Hormesis als potentieller Mechanismus zur Resistenzentwicklung beitragen könnte. In Keimtests wurden deshalb Dosis-Wirkungsversuche durchgeführt mit sensitiven und resistenten Biotypen von *Matricaria inodora* (ALS-Target-Site Resistenz; Behandlung mit Iodosulfuron-methyl-Natrium/Mesosulfuron-methyl), *Eleusine indica* (Glyphosat-resistent; Behandlung mit Glyphosat) und *Chenopodium album* (Triazin/Triazinon-Target-Site Resistenz; Behandlung mit Terbuthylazin). Nach 10 Tagen Versuchsdauer wurden die Länge und das Gewicht von Spross und Wurzel als Wirkungsparameter erhoben. Die Ergebnisse zeigten, dass hormetische Effekte sowohl beim sensitiven, als auch beim resistenten Biotyp im Durchschnitt mit einer Frequenz von 29% auftrat bei einer durchschnittlichen Wachstumsstimulierung von 53% und einem hormetischen Dosisbereich von durchschnittlich über 350fach. Hormetische Effekte zeigten jedoch eine hohe Variabilität und waren nur jeweils für spezifische Wirkungsparameter zu beobachten und nicht das Pflanzenwachstum im Allgemeinen. Ob die beobachtete variable und spezifische Stimulierung einzelner Wachstumsparameter unter Praxisbedingungen

zur Resistenzentwicklung beitragen kann ist fraglich. Für ein vollständiges Verständnis der Entwicklung von Herbizidresistenz sollten hormetische Effekte dennoch als ein potenzieller Faktor der Resistenzentwicklung in Erwägung gezogen werden.

Stichwörter: Biphasisch, Herbizide, Wachstumsstimulierung, Wirkortresistenz

Introduction

The growing impact of herbicide resistant weeds increasingly affects chemical weed management and the delay of resistance evolution has become a major task. Several factors that trigger and accelerate the development of herbicide resistance have been discovered such as biological factors (e.g., initial frequency of resistant biotypes), genetic factors (e.g., mechanism of resistance), or weed management aspects (e.g., type of herbicide, rotation of modes of action) (e.g., RENTON *et al.*, 2011). Based on this, strategies have been deduced to reduce selection pressure on resistant biotypes and are more and more adopted thanks to the growing awareness of the resistance problem (BECKIE, 2006; NORSWORTHY *et al.*, 2012). One aspect that is hitherto not on the list of factors contributing to the development of herbicide resistance is stimulatory effects of herbicides or else hormesis. However, the phenomenon that low doses of herbicides can boost weed growth may be of particular importance for the use of herbicides for which weeds have evolved resistance (BELZ *et al.*, 2011). Since the recommended field rate may represent a low dose and, thus, a hormetic dose to the resistant biotype, the growth of herbicide-resistant weeds may be promoted by regular herbicide applications. Moreover, highly resistant individuals are believed to be especially responsive to hormesis (CALABRESE and BALDWIN, 2002). Hence, on the one hand field rates may directly select resistant biotypes from a sensitive population and on the other hand they may indirectly promote the success and spread of resistant biotypes due to hormetic growth stimulation. Hormesis could thus indirectly influence the development of resistance by making hormetically enhanced resistant weeds more competitive, more reproductive, or more resistant to a second weed control measure rather than causing direct selection pressure (BELZ *et al.*, 2011). If stimulated plants are more reproductive, hormesis may directly facilitate evolution of resistance under field conditions. In an ecosystem context, a higher competitiveness than weeds that are not or are adversely affected by herbicides may lead to undesired changes in weed species composition in favour of the resistant species (CEDERGREEN, 2008). A lower sensitivity to a second weed control measure due to e.g. biomass gain or induction of detoxification processes may be particularly unwanted since a second herbicide application is a common reaction to weed survival in practice. Furthermore, if a lower sensitivity due to enhanced metabolic activity may be epigenetically inherited without fitness consequences, coupling of the hormetic response with detoxification gene induction may further assist in resistance development (GUEDES and CUTLER, 2013). Research addressing these issues is yet absent and reports on such a hormetic enhancement of resistant weeds are lacking, especially when it comes to field conditions. Here, however, a growth increase may not easily be detected nor explicitly attributable to herbicide hormesis. Therefore, a first support for the hypothesis that resistant weeds may be prone to herbicide hormesis stems accidentally from a few greenhouse studies conducted as part of resistance monitoring projects. For example, at doses regularly applied to combat weeds, ACCase target-site resistant biotypes of *Alopecurus myosuroides* Huds. (Leu₁₇₈₁-Allel) showed a maximum stimulation of shoot biomass of 39% after treatment with fenoxaprop-P-ethyl and a maximum stimulation of 54% at reduced cycloxydim doses (PETERSEN *et al.*, 2008; BELZ *et al.*, 2011).

In view of this, the current study was conducted to primarily demonstrate hormetic growth stimulation in resistant weeds and to focus on the following objectives: (1) are resistant biotypes more prone to develop hormesis?; (2) does hormesis promote overall plant fitness?; (3) does the occurrence of hormesis influence the level of resistance?; and (4) is the hormetic effect frequent enough to deduce an involvement in resistance development? For this purpose, complete dose-response experiments were conducted for sensitive and resistant biotypes of three weed species, namely *Eleusine indica* (L.) Gaertn. with resistance to glyphosate, *Matricaria inodora* L. with ALS target-site resistance, and *Chenopodium album* L. with *psbA* target-site resistance. Experiments

were conducted as germination assays as an experimental design that allows capturing hormesis in a useful and promptly way. Early stage enhancement of root and shoot growth served as an indicator for competitive ability and was evaluated in six independent experiments.

Material and Methods

Biotypes. For all three weed species used, a sensitive and a resistant biotype were included in the present study (Tab. 1). While for the glyphosate-resistant biotype of *E. indica* the mechanism of resistance is not characterized, the other resistant biotypes are characterized as target-site resistant with resistance-endowing amino acid substitutions at position 197 on the ALS gene for *M. inodora* conferring resistance to sulfonylurea herbicides and 264 on the *psbA* gene for *C. album* conferring resistance to triazines and triazinones.

Herbicides. All herbicides used were commercially available formulated products (Tab. 1) that were mixed in demineralized water to give various test solutions. Glyphosate treatments were carried out within a concentration range of 1.0 µg/ml to 25.0 mg/ml, iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl treatments within 0.008 µg/ml to 0.2 mg/ml, and terbuthylazine treatments within 6.4 µg/ml to 20.0 mg/ml.

Experimental Design. Germination bioassays were done in form of dose-response experiments in 6-well cell culture plates (Cellstar, greiner bio-one). Each well was prepared with one layer of filter paper (Ø 34 mm, MN 615, Macherey-Nagel) and 15 seeds were transferred to each well before 1.5 ml of herbicide solution or demineralized water was added. Each experiment evaluated 12 herbicide concentrations that were replicated six times (one plate) and there were 12 control replicates with demineralized water (two plates). Plates were sealed with parafilm and cultivated according to a completely randomized design. Cultivation was done in a growth cabinet [Binder KBW 720 (E5.1)] that was attuned to a day/night cycle of 12/12 h starting at 8 am with 24/18 °C and a 12 h light period of 50-70 µmol m⁻² s⁻¹ photosynthetic active radiation. After 10 days, plates were frozen at -4 °C prior to measuring root and shoot length (≥ 1 mm), shoot fresh weight, and root dry weight of 10 seedlings per replicate. If more than 10 seeds per well had germinated, 10 seedlings were randomly selected for measurement. In all other cases, all germinated seedlings were selected and non-germinated seeds counted as zero. Effects on root elongation were evaluated for all three species in six independent experiments of which three also evaluated additional effects on shoot length and shoot/root mass.

Tab. 1 Specifications of biotypes and herbicides used.

Tab. 1 Spezifikationen der verwendeten Biotypen und Herbizide.

species	origin (donor)	resistance status	treatment
<i>Eleusine indica</i>	Herbiseed	sensitive	Glyfos Supreme
<i>Eleusine indica</i>	Herbiseed	resistant	[450 g a.i./l glyphosate (607 g/l isopropylamine salt)]
<i>Matricaria inodora</i>	Herbiseed	sensitive	Atlantis OD
<i>Matricaria inodora</i>	Freiburg/Elbe, Germany (J. Petersen)	ALS ¹ TSR ² Prolin ₁₉₇ -Glycin	(2 g a.i./l iodosulfuron-methyl-sodium; 10 g a.i./l mesosulfuron-methyl)
<i>Chenopodium album</i>	Schriek, Belgium (J. Petersen)	sensitive	CLICK
<i>Chenopodium album</i>	Outgaarden, Belgium (J. Petersen)	<i>psbA</i> TSR Serin ₂₆₄ -Glycin	(500 g a.i./l terbuthylazine)

¹ALS=acetolactate synthase; ²TSR=target-site resistance

Statistical Analysis. Dose-response modeling was done with IBM® SPSS® Statistics 20. Responses per dose (y) were modeled as a nonlinear function of dose (x) to the dose-response regression model that provided the best fit for the dataset evaluated. Model comparisons for best fit were based on the ratio of residual sum of squares and residual degrees of freedom (SS/df) derived from the regression procedure so that the model with the lowest ratio was chosen. Reduced forms of three models were considered: the monophasic function of STREIBIG (1988) (Eq. 1) and the biphasic functions of BRAIN and COUSENS (1989) (Eq. 2) or CEDERGREEN *et al.* (2005) (Eq. 3).

$$\begin{array}{lll} \text{Eqs. (1)} & (2) & (3) \\ y = d / (1 + \exp(b * \ln(x / ED_{50}))) & y = (d + fx) / (1 + \exp(b * \ln(x / e))) & y = (d + (f \exp(-1 / x^a)) / (1 + \exp(b * \ln(x / e))) \end{array}$$

where d denotes the mean response of the untreated control, b determines the slope of the decreasing curve part, the size of a determines the steepness of the increasing curve part, and ED_{50} the dose causing 50% inhibition, while parameters e and f have no straightforward biological meanings (CEDERGREEN *et al.*, 2005). Response variance heterogeneity was accounted for by using the inverse variance of replicates at each dose as weight. The significance of hormesis was assessed according to SCHABENBERGER *et al.* (1999) and was given if the 95% confidence interval for the estimate of f did not cover the value zero. Besides the directly estimated parameters of the original models, further quantities describing the stimulatory effect were estimated by reparameterizations according to SCHABENBERGER *et al.* (1999) and BELZ and PIEPHO (2012, 2013a). The dose where hormesis is maximal (M), the dose where the hormetic effect disappears or the limited dose for stimulation (LDS), the distance between M and LDS doses ($dist\ 2$), and the doses causing 50% inhibition (ED_{50}) were estimated. The corresponding maximum stimulatory response y_{max} at M and the relative y_{max} value ($y_{max} * 100 / d$) were estimated as prediction at $x = M$. Resistance factors between sensitive (S) and resistant biotypes (R) were calculated at the ED_{50} dose level as $ED_{50}(R) / ED_{50}(S)$.

Results

Effects on Root Elongation. Results revealed a general low frequency of hormesis in root elongation with nine of the total 36 dose-response curves showing hormesis (25%). The frequency of hormesis in root elongation was highest for *M. inodora* (33%) followed by *E. indica* (25%), while terbuthylazine effects on *C. album* showed the lowest frequency of hormesis with 17%. Stimulation of root elongation was observed for both biotypes except for *C. album* such that resistant biotypes were stimulated within five assays and sensitive biotypes only in four (Tab. 2 and 3).

Experiments with *E. indica* showed significant hormesis or a biphasic curve as best fit for both biotypes in exp. 1 and for the sensitive biotype in exp. 2 (Fig. 1A and 1B). All other dose-response relationships were monophasic (Fig. 1C; Tab. 3). Hence, the frequency of monophasic dose-response effects on root elongation was with a total of 75% considerably higher than the occurrence of hormesis. Analyzing the quantitative features showed 11-48% maximum stimulation of root length for the sensitive and 61% for the resistant biotype. The dose range where hormesis occurred comprised a dose distance between M and LDS ($dist\ 2$) of 13-252fold for the sensitive and 504fold for the resistant biotype (Tab. 2).

Experiments with *M. inodora* showed significant hormesis or a biphasic curve as best fit for the sensitive biotype in exp. 1 (Fig. 1D) and 6 (Tab. 2) and the resistant biotype in exp. 2 (Tab. 2) and 5 (Fig. 1F). All other dose-response relationships were monophasic (Fig. 1E; Tab. 3). The occurrence of monophasic dose-responses was thus prevailing with a frequency of 67%. Quantifying the hormetic response of iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl on root elongation showed 25-42% stimulation for the sensitive biotype and 14-43% stimulation for the resistant biotype. The hormetic dose zone ($dist\ 2$) amounted at 3-12fold for the sensitive and 3-45fold for the resistant biotype (Tab. 2).

Experiments with *C. album* showed significant hormesis in root elongation in exp. 1 and 5, but only for the resistant biotype (Fig. 1G and 1I). All other dose-response relationships for the resistant biotype and all dose responses for the sensitive biotype were monophasic (Fig. 1H; Tab. 3). The observed increase in root elongation of the resistant biotype ranged between 37-57% and showed a $dist\ 2$ of 13-708fold (Tab. 2).

Tab. 2 Regression parameters for the biphasic modelling of dose responses of sensitive (S) and resistant (R) biotypes of *Eleusine indica* treated with glyphosate, *Matricaria inodora* treated with iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl, and *Chenopodium album* treated with terbuthylazine.

Tab. 2 Regressionsparameter der biphasischen Modellierung dosisabhängiger Wirkungen in sensitiven (S) und resistenten (R) Biotypen von Glyphosat-behandelter *Eleusine indica*, Iodosulfuron-methyl-Natrium/ Mesosulfuron-methyl-behandelter *Matricaria inodora* und Terbuthylazin-behandeltem *Chenopodium album*.

species	biotype	exp.	parameter	d	b	f	a	M [µg/ml]	LDS [µg/ml]	ED ₅₀ [µg/ml]	dist 2 LDS/M	y _{max} [%]
<i>Eleusine indica</i>	S	1	root length	15.2 mm	0.43	38.7	0.06	0.0041	1.045	19.100	252	148
		2	root length	27.0 mm	0.61	25.1	0.14	0.0226	0.296	6.604	13	111
		5	shoot length	3.7 mm	0.29	60.9	0.10	0.0012	0.854	50.095	685	177
	R	6	root weight	0.346 mg	0.37	1.1	0.05	0.0009	0.871	20.109	1025	160
		1	root length	11.6 mm	0.42	33.6	0.05	0.0026	1.333	22.042	504	161
		5	shoot length	4.0 mm	0.22	139.2	0.10	0.0007	0.311	63.942	446	138
<i>Matricaria inodora</i>	S	6	root weight	0.182 mg	0.50	1.7	0.08	0.0091	3.644	22.999	399	270
		1	root length	20.7 mm	0.72	262.7	0.15	0.0005	0.006	0.042	12	125
		4	root weight	0.359 mg	0.61	1.3	0.06	0.0001	0.009	0.066	77	156
	R	5	shoot length	2.9 mm	0.50	13.2	0.14	0.0044	0.033	0.806	7	112
		6	shoot weight	6.2 mg	0.38	0.7	0.12	0.0002	0.036	0.749	208	179
		6	root length	23.7 mm	1.74	24003	--	0.0004	0.001	0.003	3	142
<i>Chenopodium album</i>	S	6	shoot weight	0.396 mg	1.37	2904	--	0.0002	0.001	0.006	5	133
		2	root length	27.3 mm	0.50	31.7	0.08	0.0005	0.020	0.707	45	114
		4	root weight	0.900 mg	0.76	1.1	0.12	0.0457	0.761	5.857	17	131
	R	5	root length	26.4 mm	1.75	76.5	--	0.3465	1.178	3.185	3	143
		5	shoot length	4.3 mm	1.05	2.4	0.09	0.1828	2.390	14.806	13	116
		6	root weight	0.404 mg	1.35	2814	--	0.0005	0.008	0.056	15	190
<i>Chenopodium album</i>	S	6	shoot weight	7.3 mg	2.55	11.6	0.08	1.2385	6.034	9.971	5	158
		4	root weight	0.309 mg	0.48	1.1	0.04	0.0488	69.998	499.820	3832	218
		1	root length	27.2 mm	0.38	55.0	0.05	0.0135	9.555	266.027	708	157
	R	5	root length	30.3 mm	1.19	275.4	--	0.2509	3.203	119.498	13	137
		6	root weight	0.598 mg	0.33	3.5	0.14	0.0822	12.606	330.095	153	155
		6	shoot weight	14.4 mg	2.25	9.6	0.17	535.717	3353.942	6185.991	6	147

Effects on Other Endpoints. The frequency of hormetic effects on other endpoints was with 14 out of a total of 46 dose-response relationships (30%) somewhat higher as the observed frequency of hormesis in root elongation. Most frequent were hormetic effects on root dry weight (50%) followed by shoot length (22%) and shoot fresh weight (21%). Hormetic effects occurred for both biotypes in all three species tested, however, most often with *M. inodora* (44%) followed by *E. indica* (29%) and *C. album* (21%) (Tab. 2 and 3).

Experiments with *E. indica* revealed significant hormesis or a biphasic modelling as best fit for both biotypes in exp. 5 for shoot length (Fig. 2B) and in exp. 6 for root dry weight (Fig. 2A), while exp. 4 showed no hormetic effect in any endpoint measured (Fig. 2C; Tab. 3). Hence, hormesis occurred for all four endpoints measured with a total frequency of 27%, but in each case only for one of the several endpoints measured. Quantifying the expression of hormesis revealed a maximum increase of 38-170% and a hormetic dose zone (*dist 2*) of 399-1025fold. Thus, compared to effects on root elongation, hormesis of glyphosate tended to be more pronounced in other endpoints, especially in root dry weight (Tab. 2).

Experiments with *M. inodora* revealed significant hormesis or a biphasic modelling as best fit for both biotypes in exp. 4 (Fig. 2D) and exp. 6 for root dry weight and in exp. 5 for shoot length (Fig. 2E). The shoot fresh weight was significantly stimulated in exp. 5 for the sensitive biotype (Fig. 2F) and in exp. 6 for the resistant biotype. Hence, two experiments showed significant hormesis in two endpoints, namely root/shoot length (exp. 5) and root/shoot weight (exp. 6) in case of the resistant biotype and shoot length/weight (exp. 5) and root length/weight (exp. 6) for the sensitive biotype (Tab. 2). Overall, hormesis occurred with a total frequency of 40% for all four endpoints measured. Quantifying the expression of hormesis revealed a maximum increase of 12-90% and a *dist 2* of 5-208fold. Hence, as observed for glyphosate hormesis, the observed stimulation by iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl tended to be more pronounced for other endpoints than root elongation, especially regarding shoot weight (Tab. 2).

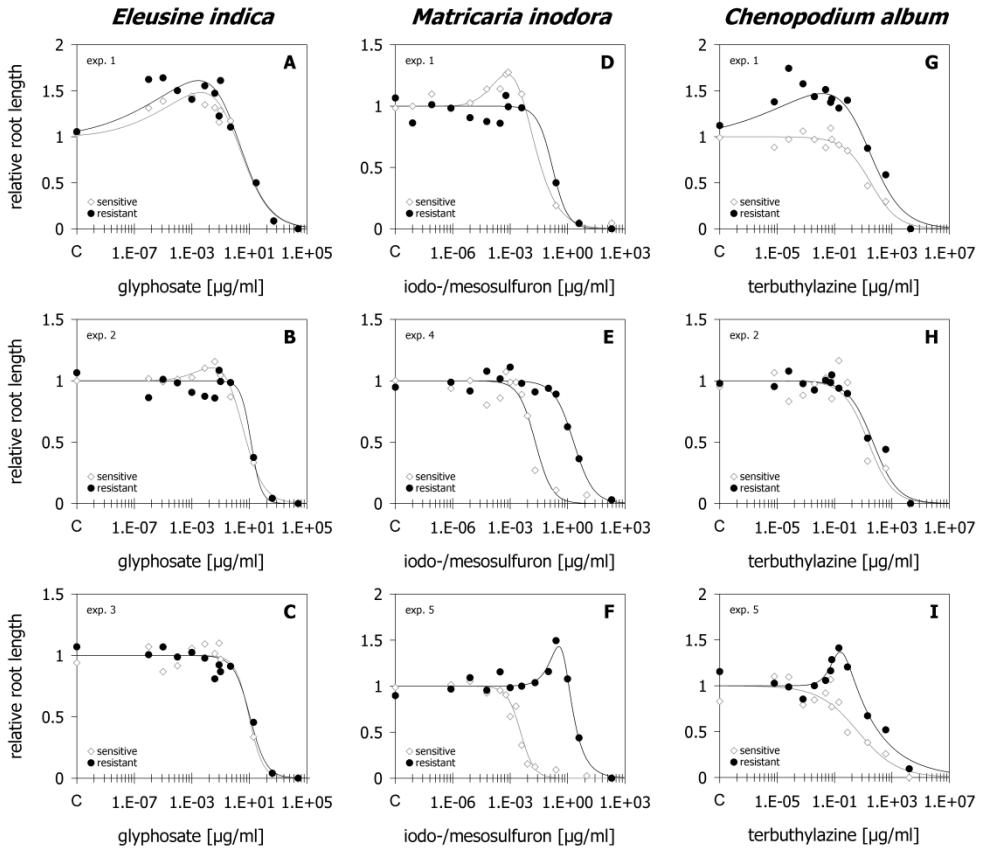


Fig. 1 Ein- und zweiphasige Dosis-Wirkungszusammenhänge für die Reaktion des Wurzellängenwachstums von sensitiven und resistenten Unkrautbiotypen in drei von sechs unabhängigen Versuchswiederholungen. (A-C) Wirkung von Glyphosat auf Biotypen von *Eleusine indica*; (D-F) Wirkung von Iodosulfuron-methyl-Natrium/Mesosulfuron-methyl auf Biotypen von *Matricaria inodora*; (G-I) Wirkung von Terbuthylazin auf Biotypen von *Chenopodium album*.

Abb. 1 Mono- und biphasic dose-response relationships for the response of root elongation of sensitive and resistant weed biotypes in three out of six independent experiments. (A-C) Effects of glyphosate on biotypes of *Eleusine indica*; (D-F) effects of iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl on biotypes of *Matricaria inodora*; (G-I) effects of terbuthylazine on biotypes of *Chenopodium album*.

Experiments with *C. album* revealed a significant hormetic effect on root dry weight of the sensitive biotype in exp. 4 (Fig. 2G) and in exp. 6 for the resistant biotype. Shoot response parameters measured were only stimulated once in the resistant biotype (Fig. 2H and 2I). Hence, terbuthylazine-treated *C. album* showed hormesis primarily for root response parameters albeit with a low total frequency of 19%. With a maximum increase of 47-118% and a *dist* 2 of 6-3832fold, the stimulation also tended to be more pronounced in other endpoints than in root length (Tab. 2).

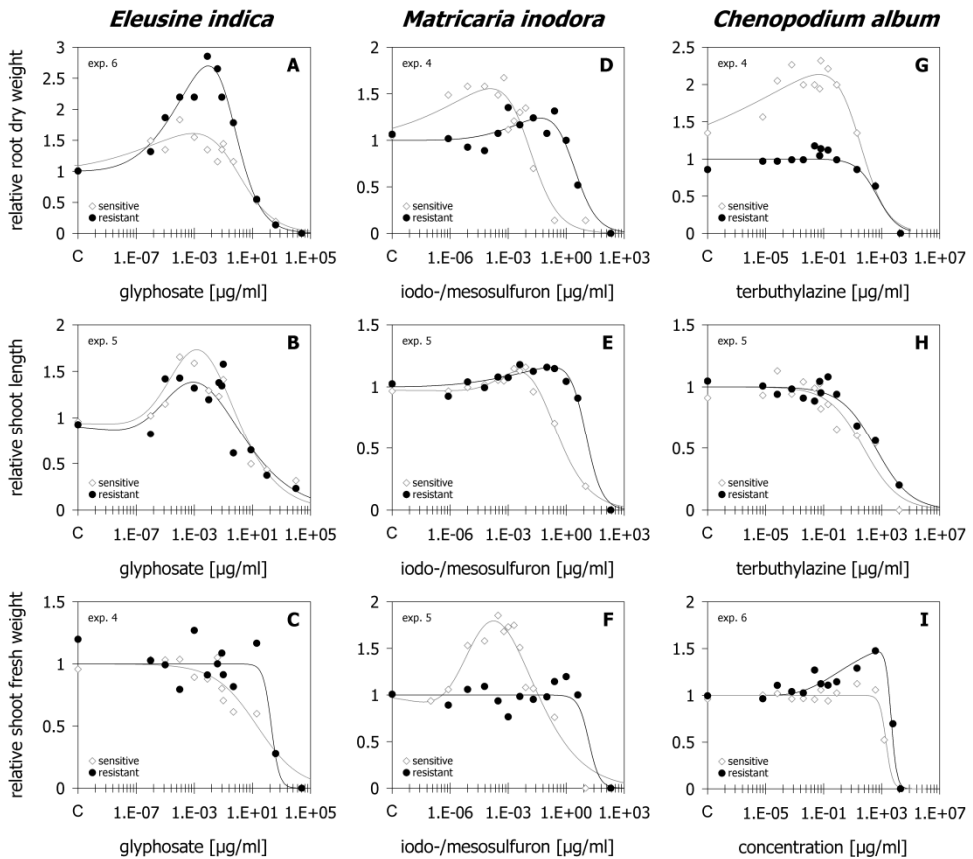


Fig. 2 Ein- und zweiphasige Dosis-Wirkungszusammenhänge für verschiedene Wirkungsparameter bei sensitiven und resistenten Unkrautbiotypen. (A-C) Wirkung von Glyphosat auf *Eleusine indica*; (D-F) Wirkung von Iodosulfuron-methyl-Natrium/Mesosulfuron-methyl auf *Matricaria inodora*; (G-I) Wirkung von Terbuthylazin auf *Chenopodium album*.

Abb. 2 Mono- and biphasic dose-response relationships for different response parameters measured in sensitive and resistant weed biotypes. (A-C) Effects of glyphosate on *Eleusine indica*; (D-F) effects of iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl on *Matricaria inodora*; (G-I) effects of terbuthylazine on *Chenopodium album*.

Resistance Factors (RF). The RFs varied in all three species tested depending on the response parameter measured and the experiment conducted (Tab. 3). Overall, RF values increased in the order *E. indica* < *C. album* < *M. inodora* from a total mean value of 3.5 in *E. indica* to 7.2 in *C. album* to 131.6 in *M. inodora*.

Experiments with *E. indica* revealed RF values between 0.9-11.6. Root response parameters showed lower RF values with a mean of 1.9 compared to 6.4 for shoot response parameters. The occurrence of hormesis in one of the two biotypes or both was not obviously related to the degree of resistance and the five highest RFs observed were achieved when hormesis was absent in the response parameter evaluated (Tab. 3).

Experiments with *M. inodora* revealed RF values between 2.7 - 907.5. Here, root response parameters showed considerably higher RF values than shoot response parameters with a mean of 206.7 for root length/mass compared to 18.9 for shoot length/mass. Relating the RFs to the occurrence of hormesis did not indicate a clear relation, however, two of the three lowest RFs were observed when only the sensitive biotype was stimulated (Tab. 3).

Experiments with *C. album* revealed RF values between 1.0-27.5. Root and shoot parameters measured showed on average fairly equal RF values with a mean of 7.3 for root length/mass and 7.0 for shoot length/mass. A clear relation between the occurrence of hormesis and the level of resistance was indeterminable here as well, however, the highest RF was observed when only the resistant biotype was stimulated and the lowest RF when only the sensitive biotype was stimulated (Tab. 3).

Tab. 3 Resistance factors (RF) and occurrence of hormesis depending on the response parameter measured and the experiment conducted in sensitive (S) and resistant (R) biotypes of *Eleusine indica* treated with glyphosate, *Matricaria inodora* treated with idosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl, and *Chenopodium album* treated with terbuthylazine.

Tab. 3 Resistenzfaktoren (RF) und Auftreten von Hormesis in Abhängigkeit des gemessenen Wirkungsparameters und der Versuchswiederholung in sensitiven (S) und resistenten (R) Biotypen von Glyphosat-behandelter *Eleusine indica*, Iodosulfuron-methyl-Natrium/Mesosulfuron-methyl-behandelter *Matricaria inodora* und Terbuthylazin-behandeltem *Chenopodium album*.

parameter	exp.	<i>Eleusine indica</i>		<i>Matricaria inodora</i>		<i>Chenopodium album</i>				
		RF	hormesis ¹	RF	hormesis	RF	hormesis			
			S	R	S	R	S	R		
root length	1	1.2	✓ (48%) ²	✓ (61%)	3.9	✓ (25%)	–	7.9	–	✓ (57%)
	2	1.5	✓ (11%)	–	74.7	–	✓ (14%)	2.2	–	–
	3	1.2	–	–	20.4	–	–	2.7	–	–
	4	3.4	–	–	100.4	–	–	3.3	–	–
	5	3.1	–	–	907.5	–	✓ (43%)	27.5	–	✓ (37%)
	6	0.9	–	–	5.4	✓ (42%)	–	9.4	–	–
root dry weight	4	–	–	–	88.8	✓ (55%)	✓ (31%)	1.0	✓ (118%)	–
	5	2.4	–	–	649.5	–	–	–	–	–
	6	1.1	✓ (60%)	✓ (170%)	9.6	✓ (33%)	✓ (90%)	4.7	–	✓ (55%)
shoot length	4	11.6	–	–	35.5	–	–	6.3	–	–
	5	1.3	✓ (77%)	✓ (38%)	18.4	✓ (12%)	✓ (16%)	6.8	–	–
	6	1.8	–	–	12.7	–	–	6.7	–	–
shoot fresh weight	4	9.4	–	–	2.7	–	–	11.9	–	–
	5	–	–	–	20.1	✓ (79%)	–	–	–	–
	6	6.1	–	–	24.1	–	✓ (58%)	3.1	–	✓ (47%)

¹✓ = significant hormesis or biphasic modelling as best fit, – = no significant hormesis or monophasic modelling as best fit; ²relative stimulation

Discussion

Effects on Growth Parameters. The general hormetic increase observed in all fields of sciences, and for different toxicants, organisms, and endpoints, ranges between 30-60% stimulation above control although this average range can be considerably exceeded to up to 200% stimulation (CALABRESE and BLAIN, 2005; CALABRESE, 2008). With a total average of 51% increase in the sensitive biotypes and 55% in the resistant biotypes and a maximum of 170% stimulation, current quantitative features are in line with the general hormetic increase reported in the literature. With a total dose distance between *M* and *LDS* (*dist* 2) of 352fold and 42% of the hormetic curves showing a *dist* 2 of > 100fold, the current dose zones of hormesis are somewhat broader than the reported mean hormetic dose zone of less than 100fold occurring in about 95% of reported hormetic results (CALABRESE, 2008; CALABRESE and BALDWIN, 2003). However, such considerable deviation from general quantitative features is known and presumed to be attributable to the type of endpoint measured and/or the biological model used (CALABRESE and BLAIN, 2011). Nevertheless, the observed average increase in early growth traits in the resistant biotypes of 55% appears to be striking provided that it is translated into an increased competitive ability under more practical conditions.

Hormesis is usually observed for a single endpoint and does not require or imply a stimulatory response for any other endpoint at any time (DUKE *et al.*, 2006; KENDIG *et al.*, 2010; MUSHAK, 2013). Therefore, stimulatory responses probably seldom lead to an over-all improvement of plant fitness (PARSON, 2003; FORBES, 2000). This also widely applies to current results as mainly only one of the four response parameters measured showed significant hormesis within one experiment and, furthermore, not always the same endpoint. The only exceptions to this were two experiments

with *M. inodora* where in each experiment and biotype two of the four parameters measured showed stimulation by iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl. Thus, in some cases of herbicide hormesis more than one endpoint may be stimulated or maybe even overall plant fitness. However, the number of endpoints or traits measured to illustrate hormesis is usually low and most studies have measured only a single endpoint. Therefore, it is yet uncertain if single endpoint increases or rather an improvement of several traits may prevail in herbicide hormesis. Since the observed frequency of hormesis increased in the order shoot weight (21%) < shoot length (22%) < root length (25%) < root weight (50%) and root weight stimulation was most pronounced, this endpoint may be most eligible to capture herbicide hormesis in germination assays. Regarding the observed interassay variability of stimulated endpoints, it is however indicated to measure several endpoints in order to capture hormesis. Nevertheless, if such an early stage boost in one trait will ultimately translate into a higher competitiveness, a higher reproductiveness, or lower herbicide sensitivity is yet questionable.

CALABRESE and BALDWIN (2002) hypothesized that highly resistant individuals may be especially responsive to hormesis. In the present study, hormesis occurred nearly as often with the sensitive biotypes as with the resistant biotypes. Furthermore, the most pronounced quantitative features (maximum increase and hormetic dose zone) were primarily obtained with the sensitive biotypes of the three weed species tested. Therefore, the present study is not in line with the assumption that resistant biotypes are more prone to develop hormesis. Moreover, the occurrence of hormesis in both target-site resistant biotypes may indicate that the hormetic effect is not related to the herbicide target endowing adverse effects for iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl and terbuthylazine. However, in some cases of target-site resistance, the target-site is still affected by the herbicide, but at higher doses. Thus, whether the hormetic mode of action really differs from the one at higher doses needs further evidence. In case of glyphosate, hormesis was absent in crops made resistant with a glyphosate-resistant EPSP synthase indicating that in case of glyphosate the hormetic effect is dependent on the same herbicide-sensitive target-site responsible for phytotoxicity (VELINI *et al.*, 2008). Since in this study the glyphosate-resistant biotype of *E. indica* showed glyphosate-hormesis, it is to assume that the EPSP synthase of that biotype is still affected by glyphosate or a mechanism endowing resistance other than a target-site resistance exists.

Hormesis is not a universally distributed biological phenomenon and there is no evidence for a high and consistent frequency of occurrence close to 100% in any case of hormesis reported (MUSHAK, 2013). A database study of CEDERGREEN *et al.* (2007) evaluating 687 dose-response curves revealed a frequency of herbicide hormesis between <20 to >70% depending on the species and the compound tested. Thus, the current frequency of 32% for the resistant biotype is in line with previous findings, although at the lower end. The question is however, if the observed 'lower end' frequency of hormesis would be sufficient to figure in resistance development. On the other hand, the frequency of hormesis was shown to dramatically vary with the biological species and the herbicide (CEDERGREEN *et al.*, 2007; MUSHAK, 2013) and, therefore, an involvement may primarily be indicated for those species/herbicide combinations showing a high frequency of hormesis. Considerable research is yet needed to prove this hypothesis.

Resistance Factors. In dose-response studies evaluating interassay and interspecies variability of hormesis, there appeared to be a positive correlation between the magnitude of hormesis and the ED_{50} such that the more pronounced the hormetic effect, the higher the ED_{50} dose level (BELZ and PIEPHO, 2013a,b). Thus, theoretically, the occurrence of hormesis should impact the level of resistance so that a solo stimulation of the sensitive reference should lower RF values, while a solo stimulation of the resistant biotype should enhance RF values. Correlating the occurrence of hormesis with observed RF values in this study did not provide clear evidence to support this hypothesis. However, the observed incidences of hormesis in only one of the two biotypes may have been too sparse to depict a general trend.

A further aspect to consider for the involvement of hormesis in resistance development is the fact that a sufficient difference in sensitivity between the sensitive and the resistant biotype is needed so that the resistant biotype is promoted at doses efficiently controlling the sensitive biotype. In this study, this was only the case for iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl-treated *M. inodora* in exp. 5 showing an RF of 907.5 for root length responses (Fig. 1F). Here, the dose giving 43% maximum stimulation (*M*) in the resistant biotype exceeded the *ED*₉₀ dose level of the sensitive reference. On the contrary, RF values as low as currently especially observed for glyphosate-treated *E. indica* will never facilitate a promotion of the resistant biotype at doses used to control the species (e.g., Fig. 1A, 2A, and 2B). Based on this, it may be speculated that primarily weeds with high resistance factors hold a risk for the involvement of hormesis in resistance development. Due to the observed highest frequency of hormesis, the stimulation of more than one plant trait and the high RF values, the actual used ALS-target-site resistant biotype of *M. inodora* may hold such a risk. Nevertheless, two further important issues are to consider in this context. *First*, the field rate does not necessarily represent the dose causing maximum stimulation or a hormetic dose. *Second*, growth stimulation may have no long-term impact if boosted plants are not more reproductive (BELZ *et al.*, 2011).

Getting back to the initial question if hormesis may be an underestimated factor in the development of herbicide resistance, an answer is still pending. This study explored herbicide hormesis in sensitive/resistant weed biotypes using an experimental design that allowed capturing the phenomenon in a useful and promptly way. However, the findings relate to early stage growth enhancement as a measure for competitive ability under controlled conditions in an artificial bioassay system. It is thus uncertain if current findings can be transferred to more complex biological systems. Therefore, the addressed potential implications of hormesis boosting resistant weeds under more practical conditions are tentative and clearly need to be verified under more practical conditions. Nevertheless, this study showed that herbicide hormesis has the potential to considerably boost early stage growth traits and, thus, the competitive ability of resistant weeds. On the other hand, results showed that rather single plant traits of resistant weed biotypes were stimulated by herbicide hormesis than overall plant fitness. Furthermore, the observed frequency of hormesis was moderate and high levels of resistance may be required for hormesis to assist in resistance development. Therefore, it is indicated that hormesis may not assist *per se* in resistance development, but only certain species/herbicide/mode of resistance combinations may be at risk. Considerable research will be required to elucidate the interplay of hormesis and herbicide resistance in weeds, however, for a full understanding of combating weeds with herbicides, hormesis should be considered.

Acknowledgement

The technical assistance of Despina Savvidou and the provision of biotypes by Prof. Dr. Jan Petersen are greatly acknowledged. RG Belz was funded by the German Research Foundation (DFG individual grant, project BE 4189/1-1).

References

- BECKIE, H. J., 2006: Herbicide-resistant weeds: management tactics and practices. *Weed Technol.* **20**, 793-814.
- BELZ, R. G., N. CEDERGREEN and S. O. DUKE, 2011: Herbicide hormesis – can it be useful in crop production? *Weed Res.* **51**, 321-332.
- BELZ, R. G. and HP. PIEPHO, 2012: Modeling effective dosages in hormetic dose-response studies. *PLoS ONE* 7(3): e33432. doi:10.1371/journal.pone.0033432.
- BELZ, R. G. and HP. PIEPHO, 2013a: Variability of hormetic dose responses of the antiauxin PCB in *Lactuca sativa* in a plant bioassay. *Weed Res.* **53**, 418-428.
- BELZ, R. G. and HP. PIEPHO, 2013b: Interspecies variability of plant hormesis by the antiauxin PCB in a laboratory bioassay. *Plant Growth Regul.*, doi:10.1007/s00344-013-9400-2.
- BRAIN, P. and R. COUSENS, 1989: An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. *Weed Res.* **29**, 93-96.
- CALABRESE, E. J. and L. A. BALDWIN, 2002: Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics. *Trends Pharmacol Sci* **23**, 331-337.

- CALABRESE, E. J. and L. A. BALDWIN, 2003: Hormesis: the dose-response revolution. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* **43**, 175-197.
- CALABRESE, E. J. and R. BLAIN, 2005: The occurrence of hormetic dose responses in the toxicological literature, the hormesis database: an overview. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* **202**, 289-301.
- CALABRESE, E. J., 2008: Hormesis: why it is important to toxicology and toxicologists. *Environ. Toxicol. Chem.* **27**, 1451-1474.
- CALABRESE, E. J. and R. B. BLAIN, 2011: The hormesis database: the occurrence of hormetic dose responses in the toxicological literature. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* **61**, 73-81.
- CEDERGREEN, N., C. RITZ and J. C. STREIBIG, 2005: Improved empirical models describing hormesis. *Environ. Toxicol. Chem.* **24**, 3166-3172.
- CEDERGREEN, N., J. C. STREIBIG, P. KUDSK, S. K. MATHIASSEN and S. O. DUKE, 2007: The occurrence of hormesis in plants and algae. *Dose Response* **5**, 150-162.
- CEDERGREEN, N., 2008: Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? *Environ. Pollut.* **156**, 1099-1104.
- DUKE, S. O., N. CEDERGREEN, R. BELZ and E. VELINI, 2006: Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? *Outlooks Pest Manag.* **17**, 29-33.
- FORBES, V. E., 2000: Is hormesis an evolutionary expectation? *Func. Ecol.* **14**, 12-24.
- GUEDES, R. and C. CUTLER, 2013: Pesticide-induced hormesis and arthropod pest management. *Pest. Manag. Sci.* (accepted).
- KENDIG, E. L., H. H. LE and S. M. BELCHER, 2010: Defining hormesis: evaluation of a complex concentration response phenomenon. *Int. J. Toxicol.* **29**, 235-46.
- MUSHAK, P., 2013: How prevalent is chemical hormesis in the natural and experimental worlds? *Sci. Total Environ.* **443**, 573-581.
- NORSWORTHY, J. K., S. M. WARD, D. R. SHAW, R. S. LLEWELLYN, R. L. NICHOLS, T. M. WEBSTER, K. W. BRADLEY, G. FRISVOLD, S. B. POWLES, N. R. BURGOS, W. W. WITT and M. BARRETT, 2012: Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Sci.* **60**, 31-62.
- PARSON, P. A., 2003: Metabolic efficiency in response to environmental agents predicts hormesis and invalidates the linear No-Threshold Premise: ionizing radiation as a case study. *Crit. Rev. Toxicol.* **33**, 443-50.
- PETERSEN, J., J. M. NESER and M. DRESBACH-RUNKEL, 2008: Resistant factors of target-site and metabolic resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) biotypes against different ACC-ase-inhibitors. *J. Plant Dis. Protect. Special Issue XXI*, 25-30.
- RENTON, M., A. DIGGLE, S. MANALIL and S. POWLES, 2011: Does cutting herbicide rates threaten the sustainability of weed management in cropping systems? *J. Theor. Biol.* **283**, 14-27.
- SCHABENBERGER, O., B. E. THARP, J. J. KELLS and D. PENNER, 1999: Statistical tests for hormesis and effective dosages in herbicide dose response. *Agron. J.* **91**, 713-721.
- STREIBIG, J. C., 1988: Herbicide bioassay. *Weed Res.* **28**, 479-484.
- VELINI, E. D., E. ALVES, M. C. GODOY, D. K. MESCHEDÉ, R. T. SOUZA and S. O. DUKE, 2008: Glyphosate at low doses can stimulate plant growth. *Pest Manag. Sci.* **64**, 489-496.

Efficacy study and resistance detection for pre-emergence herbicides under greenhouse conditions; a method comparison for pendimethalin

Wirksamkeitsprüfung und Resistenzdetektion für bodenaktive Herbizide; Ein Methodenvergleich am Beispiel Pendimethalin

Alexander Menegat^{1*}, Bernd Sievernich² and Roland Gerhards¹

¹ Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin, Fachgebiet Herbologie, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart, Germany

² BASF SE, Agrarzentrum Limburgerhof, 67117 Limburgerhof, Germany

*Corresponding author, alexander.menegat@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.010

Abstract

Aim of the presented study is to demonstrate the impact of two different irrigation methods, from below and from above, and two different pendimethalin formulations, capsule suspension (CS) and suspension concentrate (SC) on the control efficacy of pendimethalin against Silky bent-grass (*Apera spica-venti*) under greenhouse conditions. We assume that changes regarding the efficacy level of pendimethalin due to methodological factors will affect the reliability of resistance detection.

Five populations of Silky bent-grass were selected according to their various multi-resistance patterns. One population was a standard sensitive reference population while the remaining four populations are characterized by different resistance patterns against herbicides of the HRAC groups A, B, C2, K1 and N. Pendimethalin dose response studies were performed by taking into account the experimental factors (1) irrigation system and (2) pendimethalin formulation.

The results show that a combination of CS-formulation and irrigation from above resulted in a significantly reduced efficacy of pendimethalin independent of the resistance profile of the tested populations. Therefore no differentiation between susceptible and tolerant populations was possible. In contrary the SC-formulation resulted in an overkill situation under irrigation from below even at dosages lower than 20% of the recommended field rate. Thus the differentiation between the resistant and susceptible biotype was impossible as well. For the detection of reduced tolerance against pendimethalin a combination of SC-formulation and irrigation from above was found to be favourable and thus this should become the standard procedure for pendimethalin resistance testing.

Keywords: *Apera spica-venti* capsule suspension, non-target-site resistance, pendimethalin, resistance detection, suspension concentrate

Zusammenfassung

Ziel der vorgestellten Versuche ist es, die Auswirkungen unterschiedlicher Methoden der Bewässerung (Beregnung vs. Anstaubewässerung) und unterschiedlicher Formulierungen von Pendimethalin (Kapselsuspension, CS vs. Suspensionskonzentrat, SC) auf die Wirksamkeit von Pendimethalin unter Gewächshausbedingungen zu untersuchen. Es ist anzunehmen, dass Veränderungen der Wirkung auf Grund von methodischen Faktoren sich auf die Verlässlichkeit der Resistenzdetektion auswirken. Fünf Windhalm Populationen (*Apera spica-venti*) wurden auf Grund ihrer unterschiedlichen Resistenzprofile für die Versuche ausgewählt. Eine der Populationen war eine sensitive Standard-Population. Vier weitere Populationen zeigten Resistenzen gegenüber Wirkstoffen aus den HRAC Gruppen A, B, C2, K1 und N. Für den Wirkstoff Pendimethalin wurden Dosis-Wirkungs-Versuche durchgeführt unter Einbezug der genannten Versuchsparameter (1) Bewässerungsstrategie und (2) Pendimethalin Formulierung.

Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass eine Kombination aus CS-Formulierung und Beregnung, unabhängig vom Resistenzprofil der getesteten Population, zu einer eingeschränkten Wirksamkeit von Pendimethalin unter Gewächshausbedingungen führt. Demzufolge war keine Unterscheidung zwischen der sensitiven und der resistenten Population möglich. Im Gegensatz dazu führte die Kombination aus SC-Formulierung und Anstaubewässerung bereits bei Dosierungen von weniger als 20% der empfohlenen Feldaufwandmenge zu 100 % Bekämpfungserfolg. Demzufolge war auch hier keine Unterscheidung zwischen der sensitiven und der resistenten Population möglich. Für die Detektion erhöhter Toleranzen gegenüber Pendimethalin hat sich eine Kombination aus SC-Formulierung und Beregnung als vorteilhaft erwiesen. Diese Erkenntnisse sollten bei der Entwicklung eines standardisierten Testverfahrens berücksichtigt werden.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, Kapselsuspension, metabolische Resistenz, Pendimethalin, Resistenzdetektion, Suspensionskonzentrat

Introduction

The excessive use of the HRAC group A and B herbicides for grass weed control in winter cereals has caused the spread of herbicide resistant grass weed populations all over Europe and has caused the selection of mainly non-target site resistant (NTSR) populations (SIEVERNICH *et al.*, 2013). Therefore non-target-site resistance (NTSR) has become the centre of herbicide resistance research. NTSR causes, in contrary to target-site resistance (TSR), unpredictable multi-resistance patterns across different modes of action. The underlying polygenetic NTSR mechanisms are currently under intensive investigation but, due to their complexity and diversity, only slow progresses in gaining knowledge are expected.

The number of HRAC group K- or N-tolerant grass weed populations is very low (HEAP, 2013) and these compounds are recommended as alternative modes of action, why herbicides like pendimethalin (HRAC group K1) are important compounds for the control of ALS and ACCase resistant weed populations as well as for the prevention of herbicide resistance development. Considering the fact that due to the European Community regulation EC1107/2009 the diversity of compounds will decrease and no new modes of action will be available in the near future, HRAC group K1, K3 and N compounds will become the backbone of weed control in winter cereals.

Pendimethalin is currently approved for use in all European countries over a wide range of crops. The compound is absorbed by roots, coleoptiles of emerging weeds and to a certain extent by leaves. In winter cereals pendimethalin is used as pre-emergence as well as early-post and post-emergence herbicide until weed BBCH 13. For control of silky bent grass pre-emergence and early post-emergence treatments were found to be favourable.

Even if the number of pendimethalin tolerant grass weed populations is low, standardised efficacy testing methods have to be developed to ensure a proactive and reliable monitoring of potential resistance occurrences in the future. However, efficacy studies with soil active herbicides under greenhouse conditions are problematic and deliver controversial data. Results highly depend on soil types used for the trials, temperature conditions in the greenhouse, timing of herbicide application and in the case of pendimethalin even on the type of formulation used.

Several methodological aspects have been discussed before, like the influence of various plant densities on herbicide efficacy, effect of temperature on herbicide efficacy as well as the type of irrigation system (MENNE and WAGNER, 2008; MENNE *et al.*, 2012). Up to now the influence of pendimethalin formulation as well as the combined effect of irrigation system and pendimethalin formulation on resistance detection has not been discussed before.

Material and methods

In addition to a susceptible *Apera spica-venti* standard population four populations with different resistance profiles were selected for the experiments, based on the results of previous herbicide efficacy studies as well as field observations. Seeds of the tested herbicide tolerant populations were collected from locations in Germany, Czech Republic and Poland. The biotypes were selected specifically due to their various multi-resistance profiles against herbicides of the HRAC groups A, B, C2, K1 and N. Single nucleotide polymorphisms (SNP) could be confirmed at the ALS genome for all tested resistant populations. Herbicide resistances profiles for the selected biotypes as well as the respective SNP profiles are shown in Table 2. For the selected herbicide tolerant biotypes a certain level of NTSR (non-target-site resistance) can be assumed, since the SNP's alone cannot explain the multi-resistance profile.

For dose-response studies seeds were sown into 8 cm pots (Jiffy Products International B.V., NL), filled with a soil mixture according to Table 1. Germination tests, realised with the same soil mixture shown in Table 1, were used to estimate the germination capacity and thus for calculation of the seed amount needed per pot for each biotype. Hence a target plant density of 8 plants per

pot (+-2) could be realised. The pots were placed in a glasshouse at 15 °C day and 10 °C at night (+-3 °C), 60% humidity and with 12h additional illumination. Herbicides were applied three days after sowing with a standard laboratory track sprayer (8002 EVS TeeJet nozzle, pressure 320 kPa, water amount 200 l/ha). The two tested formulations of pendimethalin were sprayed in five dosages ranging from 2000 g a.i./ha to 250 g a.i./ha and an untreated control. Three repetitions per treatment were realized.

The herbicide efficacy assessment took place 21 days after treatment by a colour threshold based binary image analysis. A detailed description of the binary image analysis method in conjunction with herbicide dose response pot experiments can be found in JÄCK *et al.* (2011) as well as in MASSA and GERHARDS (2011).

For method comparison the experiment contained the following variables:

- 1) Irrigation conditions – from above and from below
- 2) Formulation of pendimethalin – capsulated suspension (Stomp Aqua®, BASF SE) and suspension concentrate (Stomp SC®, BASF SE)

Pots treated with Stomp Aqua® and irrigated from below were once watered from above 24 h after treatment for activation of the herbicide.

Tab. 1 Soil texture and organic matter content of the substrate used for experiments.

Tab. 1 Korngrößenzusammensetzung und organische Substanz des verwendeten Bodensubstrates.

Soil texture	%
Clay	14,9
Sand	58,3
Silt	26,8
C _{org} /organic matter	1,29/2,23

Tab. 2 Resistance profile of the tested Silky bent grass populations. Resistance classification according to Moss (1999).

Tab. 2 Resistenzprofil der getesteten Windhalm-Populationen. Resistenzklassifikation nach Moss (1999).

	10-174-STD	10-139	12-134	12-215	12-259
cycloxydim	S	S	S	S	S
pinoxaden	S	S	S	S	R?
mesosulfuron + iodosulfuron	S	RR	RR	RR	RR
pyroxsulam	S	R?	RR	S	RR
isoproturon	S	RR	S	S	S
pendimethalin	S	S	S	S	R?
prosulfocarb	S	S	R?	R?	R?
NTSR	-	X	X	X	X
SNP ALS	-	Pro197	Pro197Thr	Pro197ThrTrp574Leu	Pro197Ser

A dose response analysis was performed, using the non-linear regression model after STREIBIG (1988), with the statistical language R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010) and the R add-on package drc (RITZ and STREIBIG, 2005). ED50 and ED90 values were calculated and analysed for statistical significant differences between the biotypes.

Results

For analysis of the effects of formulation and irrigation, data of pendimethalin susceptible populations were pooled (population 10-174-STD, 10-139, 12-134 and 12-215). Dose response parameters of the pooled populations were not significantly different at $p = 0.05$. Dose response curves for the two tested formulations (CS and SC) were compared by testing the ED50 and ED90 values for significant differences.

The type of irrigation significantly influenced the efficacy of the CS-formulation (Fig. 1, A). ED50 and ED90 values were significantly different at $p = 0.05$. As can be seen in Figure 1, irrigation from above resulted in a faster release of pendimethalin from the capsules and hence in a lower ED50 value of 257.43 g a.i./ha compared to irrigation from below with an ED50 value of 567.2 g a.i./ha. Nevertheless the ED90 value of the irrigation from above was significantly higher compared to the irrigation from below. Under irrigation from above the pendimethalin dosage has to be 2.3 times higher to reach an efficacy level of 90% compared to the irrigation from below. Both ED90 values for the CS-formulation are much higher than the maximum recommended dosage of pendimethalin under field conditions (2000 g a.i./ha).

The ED50 as well as ED90 values of the SC-formulation (Fig. 1, B) for the tested irrigation systems were not significantly different (ED50 values: irrigation from above 188.7 g a.i./ha; irrigation from below 51.2 g a.i./ha). The irrigation system did not affect the herbicide efficacy. Unless no significant differences were found it could be observed that the efficacy at dosage below 100 g a.i./ha was higher under irrigation from below compared to from above.

The observed effects of the tested irrigation systems and pendimethalin formulations influenced the detection of the pendimethalin tolerant population. Considering the SC-formulation und irrigation from below, no significant differences were found comparing population 12-259 (subsequently named tolerant) and the susceptible populations (Fig. 2, A). The low ED90 values indicate that the herbicide efficacy under irrigation from below was high enough to affect susceptible and tolerant populations to the same extend. Under irrigation from above ED90 values of the susceptible and the tolerant population were significantly different at $p = 0.05$.

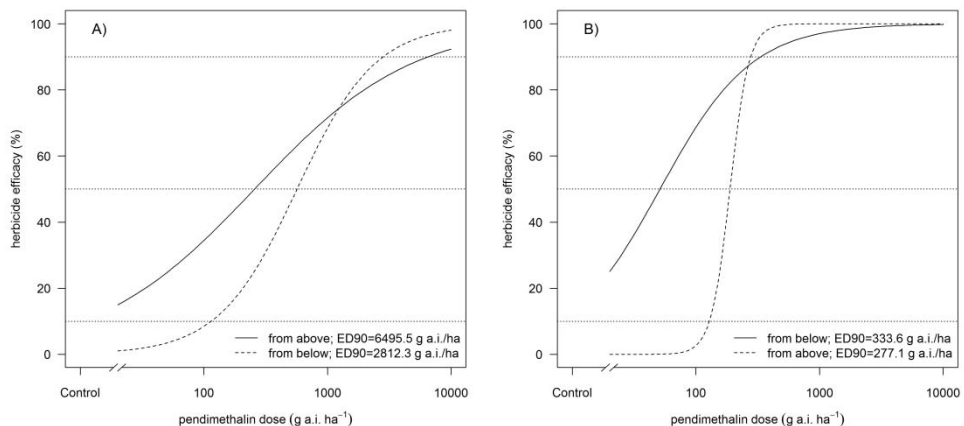


Fig. 1 Dose response curves and ED90 values of susceptible populations for pendimethalin CS-formulation (A) and SC-formulation (B) under irrigation from above and from below.

Abb. 1 Vergleich der Dosis-Wirkungs Beziehung und ED90-Werte sensibler Populationen für Pendimethalin CS-Formulierung (A) und SC-Formulierung (B) unter Bewässerung von oben und Anstaubewässerung.

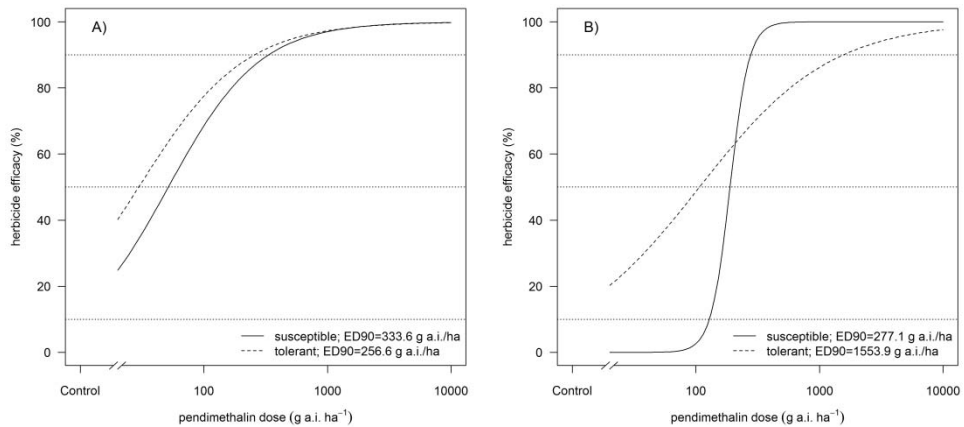


Fig. 2 Dose response curves and ED90 values of susceptible and tolerant populations for pendimethalin SC-formulation under irrigation from below (A) and from above (B).

Abb. 2 Vergleich der Dosis-Wirkungs-Beziehung und ED90-Werte sensibler und toleranter Populationen für pendimethalin SC-Formulierung unter Anstaubbewässerung (A) und Bewässerung von oben (B).

A resistance factor of 5.6 was found for the tolerant population, which corresponds with previous greenhouse efficacy studies for this population. Differentiation between susceptible and tolerant populations for the CS-formulation was not possible since a dose response analysis for the tolerant biotype was not possible due to a very low herbicide efficacy under both tested irrigation system. This finding corresponds with the high ED90 values found even for the susceptible populations (Fig. 1).

Discussion

For herbicide resistance detection purposes it is essential to avoid a false positive or false negative classification of suspicious weed populations. Therefore the methods used in the experiments have to be selected carefully, especially when dealing with soil-acting compounds like pendimethalin. So far a standard procedure for resistance tests with soil active herbicides is still lacking.

The presented results could show that under greenhouse conditions the use of a pendimethalin CS-formulation is accompanied by several difficulties. Release of active substance requires physical stress due to soil water and temperature depending swelling and shrinking of the capsules. Under greenhouse conditions, where environmental conditions are kept uniform and target plants germinate and grow much faster than under field conditions, the compound has no chance to develop its full efficacy.

Furthermore the artificial soil substrates used for greenhouse experiments are characterised by a high proportion of coarse pores and a low proportion of fine pores especially when sand contents are higher than 30% allowing a fast development of the root system within a short period after emergence. Under these conditions, irrigation from above also forces an active transport of the capsules by the water stream within the top layer of the soil, diluting the concentration of the active substance at the soil surface. Summarized these effects lead to a severe underestimation of the herbicide activity. In terms of resistance detection this may cause a high proportion of false positive detections.

Treatment with the SC-formulation combined with irrigation from below resulted in much higher efficacy of pendimethalin at lower dose rates. The irrigation from below is probably hindering a

particle bound transport of pendimethalin within the top soil layer and most of the compound concentrates at the soil surface where it is highly effective against germinating plants. This resulted in an overkill situation where even a pendimethalin tolerant population was controlled by 100% at dosages far below the recommended field dose. For herbicide resistance detection this means a high proportion of false negative detections, especially when dealing with populations with an only slightly increased tolerance against the compound.

Summarised the following points should be considered for the development of standard procedures for greenhouse trials with pendimethalin:

- SC-formulation of pendimethalin should be used instead of a CS-formulation, since the release of the compound from the capsules is reduced and is following a different release pattern under greenhouse conditions.
- Irrigation from above has to be preferred, since the dose response curve is more gradual with a better corresponding behaviour likewise as under field conditions.
- In case of dose response studies, ED90 values have to be preferred for resistance factor determination since increased tolerances due to enhanced metabolism only tend to become significant above the ED50 dose.

Beside the presented results other aspects have to be considered for the development of a standard method, for example target plant density and temperature regime as discussed in MENNE *et al.* (2012) and MENNE and WAGNER (2008). Furthermore, transferability of greenhouse data to field conditions for soil residual compounds needs to be further investigated to allow for a more precise and reliable description of the susceptibility of tested biotypes. Smaller differences observed under greenhouse conditions may not translate into a noticeable distinction of product performance under field conditions.

References

- HEAP, I., 2013: International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedresearch.com>. Accessed October 15 2013.
- JÄCK, O., A. MENEGAT and R. GERNHARDS, 2011: Introduction of a Non-Destructive Method for the Investigation of Herbicide Efficacy in Greenhouse Bioassays Based on Image Analysis. In: Proceedings of the 23rd Asian-Pacific Weed Science Society Conference, Cairns, Australia.
- MASSA, D. and R. GERHARDS, 2011: Investigations on herbicide resistance in European silky bent grass (*Apera spica-venti*). Populations. *J. of Plant Dis. And Protect.* **118** (1), 31–39.
- MENNE, H. J. and J. WAGNER, 2008: What is the best method to test for herbicide resistance in weeds?. 56 German Plant Protection Conference, *Mitteilungen Julius Kühn-Institut* **417**, 187.
- MENNE, H. J., B. LABER, D. KERLEN and R. BEFFA, 2012: Effectiveness of flufenacet in controlling resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) – comparison of glasshouse and field trial results. German Conference on Weed Biology and Weed Control, *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 401-408.
- MOSS, S. R., J. H. CLARKE and A. M. BLAIR, 1999: The occurrence of herbicide-resistant grass-weeds in the United Kingdom and a new system for designating resistance in screening assays. In: Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference on Weeds, ed. G. MARSHAL, Hampshire, UK, 179–184.
- MOSS, S. R., 2000: The Rothamsted Rapid Resistance Test for detecting herbicide-resistance in annual grass-weeds. *Weed Science Society of America Annual Meeting*, **40**, Abstract 102.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010: R: A Language and Environment for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>. Accessed June 1, 2013.
- RITZ, C. and J. C. STREIBIG, 2005: Bioassay Analysis using R. *Journal of Statistical Software* **12** (5).
- SIEVERNICH B., M. PFENNING and A. MENEGAT, 2013: *Alopecurus myosuroides* – Variation in resistance profile, their geographical spread and impact on herbicidal control options in winter annual cropping systems. *Proceedings 16th Symposium EWRS* 2013, 291.
- STREIBIG, J. C., 1988: Herbicide bioassay. *Weed Research* **28**, 479-484.

Impact of non-target-site-resistance on herbicidal activity of imazamox on black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in comparison to other ALS-graminicides

Einfluss der Nicht-Wirkortresistenz auf die herbizide Wirkung von Imazamox auf Ackerfuchsschwanz (Alopecurus myosuroides Huds.) im Vergleich zu anderen ALS-Graminiziden

Bernd Sievernich^{1*} and Alexander Menegat²

¹ BASF SE, Agrarzentrum Limburgerhof, 67117 Limburgerhof, Germany

² Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin, Fachgebiet Herbologie, 70599 Stuttgart, Otto-Sander Strasse 5, Germany

*Korrespondierender Autor, bernd.sievernich@basf.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.011

Abstract

A black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) resistance-monitoring conducted by BASF in 2010-2012 revealed a high number of accessions with resistance against imazamox. However, application of imazamox-based products in a winter crop was limited to winter beans in France and United Kingdom only until the introduction of the Clearfield[®]-production system in autumn 2012 in winter oilseed rape. It is therefore assumed that the resistance mechanisms were probably selected by the frequent use of ACCase- and ALS-inhibitors in winter crop rotations during the last 2 decades. Resistance level for each product-biotype combination was calculated according the "R"-classification system (S, R?, RR, RRR) by directly comparing the product performance on a biotype versus untreated control. Majority of resistant biotypes did not show a target-site mutation at the known codon Pro197 or Trp574. In order to better evaluate the impact of Non-Target-Site-Resistance (NTSR) on the activity of BEYOND (imazamox), ATLANTIS WG (mesosulfuron+iodosulfuron) and ABAK (pyroxsulam), biotypes who have shown an ALS-target-site mutation were removed from further analysis.

At the dose rate of 35 g ai/ha BEYOND provided good activity on susceptible biotypes of black-grass almost matching up with ATLANTIS WG and ABAK. However, activity of BEYOND declined stronger on biotypes classified as R? or RR for that product, while ATLANTIS WG and ABAK hardly showed any decline in control on this group of biotypes when applied at the recommended dose rate. It is assumed that the underlying NTSR-mechanism is not effective enough yet to confer resistance to ATLANTIS WG and ABAK, but on BEYOND. In contrast, biotypes classified as R? for ATLANTIS WG did show a stronger impact on the activity of BEYOND and ABAK than of ATLANTIS WG. These differences in control level probably do translate into differences in selection pressure as well.

Keywords: Mesosulfuron, NTSR, pyroxsulam, resistance

Zusammenfassung

In einem Ackerfuchsschwanz-Monitoring, das von der BASF in 2010-2012 durchgeführt wurde, zeigte eine hohe Anzahl an Herkünften eine Resistenz gegenüber Imazamox. Anwendungen von imazamox-basierten Produkten in Winterungen waren bis zu diesem Zeitpunkt jedoch auf Winterbohnen in Frankreich und Großbritannien beschränkt. Erst mit der Einführung des Clearfield[®]-Produktionssystems im Herbst 2012 in Wintereraps ist eine Anwendung in einer flächenmäßig bedeutsamen Winterung möglich. Es ist daher anzunehmen, dass die in diesen Herkünften vorliegenden Resistenz-Mechanismen durch die häufige Anwendung von ACCase- und ALS-Hemmern in Winterungen während der letzten beiden Jahrzehnte selektiert wurden. Die Einstufung des Resistenzgrades der geprüften Produkte auf die einzelnen Biotypen wurde dabei nach dem „R“-Klassensystem (S, R?, RR, RRR) vorgenommen. Die Mehrheit der resistenten Biotypen zeigte keine Wirkort-Resistenz an den bekannten ALS-Mutationsstellen Pro197 und Trp574. Um den Einfluss der Nicht-Wirkort-Resistenz auf die Aktivität der Produkte BEYOND (imazamox), ATLANTIS WG (mesosulfuron+iodosulfuron) und ABAK (pyroxsulam) besser beurteilen zu können, wurden die entsprechenden Biotypen mit ALS-Wirkort-Resistenz nicht in die weitere Analyse einbezogen.

Bei der Aufwandmenge von 35 g ai/ha erzielte BEYOND eine gute Wirkung auf sensitive Ackerfuchsschwanz-Biotypen, wobei annähernd das Wirkungsniveau von ATLANTIS WG und ABAK erzielt werden konnte. Allerdings fiel die Wirkung von BEYOND deutlich ab, wenn Behandlungen auf die für dieses Produkt zugeordneten Biotypen der Resistenzklassen R? oder RR erfolgten. Die Wirkung von ATLANTIS WG und ABAK auf diese Biotypen wurde bei Anwendung der einfachen Aufwandmenge hingegen kaum beeinflusst. Es kann angenommen werden, dass die vorliegenden Nicht-Wirkort-Resistenzmechanismen zu wenig ausgeprägt

waren um eine Resistenz gegenüber ATLANTIS WG und ABAK herbeizuführen. Im Gegensatz dazu fiel die Wirkung von BEYOND und ABAK im Vergleich zu ATLANTIS WG stärker ab, wenn die Biotypen gegenüber ATLANTIS WG die Einstufung R? zeigten. Es ist davon auszugehen, dass die beobachteten Unterschiede im Wirkungsgrad sich auch als Unterschiede im Selektionsdruck wiederfinden werden.

Stichwörter: Mesosulfuron, NTSR, Pyroxsulam, Resistenz

Introduction

Herbicide resistance in black-grass is already an established threat in winter annual cropping systems in the maritime area of Western Europe, where resistance has constantly been evolved over the last decades. Besides the mode of action specific target-site resistance, other mechanism, described and cumulated as Non-Target-Site Mechanism (NTSR) are gaining importance because of their unpredictable resistance to herbicides with different mode of action (PETIT *et al.*, 2010). Black-grass population resistant to ACCase-inhibitors very often do possess high frequent target-site mutation side by side with non-target-site mechanism. In ALS-resistant population occurrence and frequency of the known mutation at Pro197 and Trp574 is lower, revealing a strong impact of NTSR-mechanism (SIEVERNICH *et al.*, 2013).

It was demonstrated that NTSR is under polygenetic control, but accumulation of up to at least three NTSR loci in a single plant could be necessary to confer resistance. This leads to the assumption that NTSR loci are accumulating within individual plants depending on the selection pressure, which results in a gradual increase in the frequency of resistant plants and in the average resistance level of an individual plant to a given herbicide (DÉLYE *et al.*, 2010).

The introduction of the Clearfield[®]-production system in winter oilseed rape enables farmers for the first-time to control a broad spectrum of problematic dicotyledonous weeds, including brassicaceae by the use of products based on the ALS-inhibitor imazamox. The additional activity on sensitive population of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) raises the question whether this use in winter oilseed rape generates additional selection pressure on-top of the commonly utilized ALS-graminicides in cereals.

Material and methods

Seeds of black-grass were sampled during 2010-2012 throughout Europe to investigate the resistance pattern against various graminicides with different modes of action. Sampling was done in a non-randomized manner with major emphasis on Germany, France, United Kingdom, Belgium and Netherland, including locations with product failure, suspicious resistance cases and trial sites.

Cultivation of black-grass was done primarily by direct sowing into plastic or Jiffy-pots (Jiffy Products International B.V., NL) of about 8cm in diameter. At low germination rates, transplanting of pre-cultivated plants were done at about 1-2 leaf stage approximately 4-5 days before application to establish a minimum of 8 plants per pot.

Greenhouse trial design includes 3 replications per treatment and the inclusion of a sensitive reference which was uniform through the years at all test locations.

Application was done at the 2-3 leaf stage of black-grass using 0.5x, 1x and 2x of the maximum recommended dose rate of various post-emergence ALS-graminicides of different chemical classes (Tab. 1). All products were applied with their recommended adjuvant.

Final efficacy evaluation was done 3-4 weeks after application as a visual assessment in % plant damage in a treated pot compared to the untreated control.

Tab.1 Geprüfte Produkte und deren Aufwandmengen.**Tab.1** *Tested products and their dose rates.*

Product	Active Substance(s)	Chemical Class	Dose rate			adjuvant
				Product/ha	g ai/ha	
BEYOND	Imazamox	Imidazolinone	0.5x	145 ml/ha	17,5	DASH EC
			1x	290 ml/ha	35	
			2x	580 ml/ha	70	
ATLANTIS WG	Mesosulfuron + Iodosulfuron	Sulfonylurea	0.5x	250 g/ha	7,5 + 1,5	MERO
			1x	500 g/ha	15 + 3	
			2x	1000 g/ha	30 + 6	
ABAK	Pyroxsulam	Triazolopyrimidine	0.5x	125 g/ha	9,38	RME
			1x	250 g/ha	18,75	
			2x	500 g/ha	37,5	

Product efficacy on a biotype was compared to the same treatments on the sensitive standard in the trial and ascribed to one of four resistance classes (S, R?, RR, RRR) according to Moss (1999).

SNP (Single Nucleotide Polymorphism) analysis of biotypes classified as R?, RR or RRR was initiated to investigate on any potential target-site mutation at position Pro197 and Trp574 of the ALS-enzyme.

With the aim of this analysis, to focus on the impact of NTSR on the activity of various ALS-inhibitors, biotypes in which an ALS-target-site resistance was detected have been excluded. However, the set of biotypes still includes those biotypes with an ACCase target-site resistance.

Product performance was analyzed by comparing the activity of the tested products against a defined group of black-grass biotypes. Definition of the group of biotypes was done according to a selected resistance class of a product (e.g. all R?-classified biotypes of BEYOND).

The qualitative parameters (1) product and (2) dose rate as well as their interaction were tested for significant differences with Tukey's HSD (Honestly Significant Difference) test at $p=0.05$, performing a two-way ANOVA with the statistic software R (R Development Core Team 2010) and the R add-on package *agricolae* (DE MENDIBURU, 2013)

Results

A high uniformity in the performance of the tested products on the sensitive reference assures a high trial and data quality. The “R”-system requested to have a minimum activity on the sensitive reference of 80%. Herbicidal activity, as presented in Figure 1, of the three ALS-inhibitors ATLANTIS WG, ABAK and BEYOND on the sensitive black-grass reference was at the expected high level with a control of $\geq 90\%$ at the 1x dose rate. At the reduced dose rate of 0.5x herbicidal activity declined slightly and revealed some differentiation between the products with a lower stability and reliability in the activity of BEYOND compared to the other products (Fig. 1).

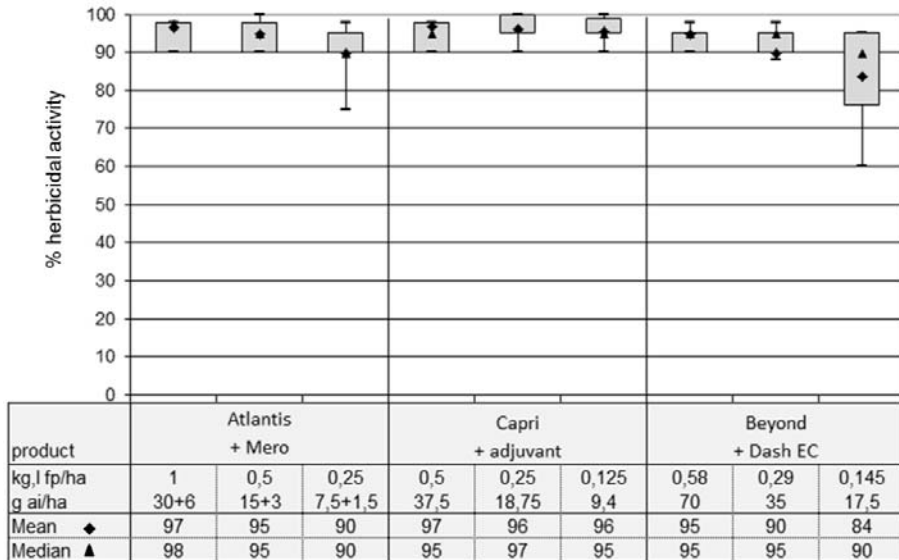


Abb. 1 Herbicide Wirkung von ALS-Inhibitoren auf Ackerfuchsschwanz (sensitiver Standard).

Fig. 1 Herbicidal activity of ALS-inhibitors on black-grass (sensitive standard).

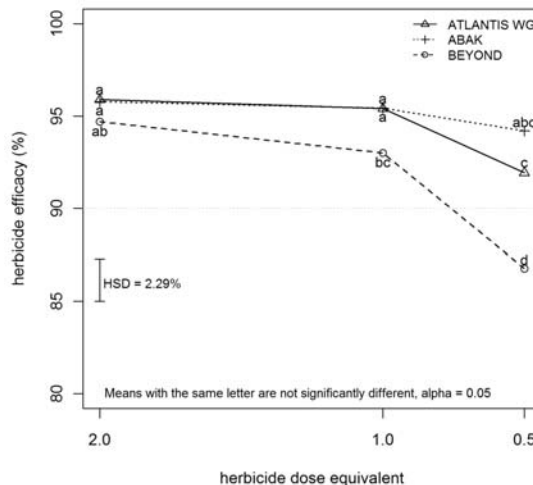


Abb. 2 Herbicide Wirkung von ALS-Inhibitoren auf Ackerfuchsschwanz (sensitive Einstufung).

Fig. 2 Herbicidal activity of ALS-inhibitors on black-grass (sensitive classification).

By selecting biotypes sampled at different locations in Europe (excluding the sensitive reference) and classified as being susceptible to BEYOND (n=60) a similar result was obtained as with the sensitive reference. At the 2x and 1x dose rate activity level of all products was quite similar (95-96% resp. 93-96%), while at the 0.5x dose rate activity started to differentiate more (87-96%). At the 1x rate, but even more pronounced at the 0.5x dose rate, black-grass control of BEYOND was significantly lower than of ATLANTIS WG and ABAK (Fig. 2).

In a further approach, black-grass biotypes were selected who did show an R²-classification for the use of BEYOND (n = 21). The R²-class is defined to show an early indication that resistance may be developing (Moss *et al.*, 1999).

BEYOND revealed a clear and significant dose response with black-grass activity stretching from 62% at 0.5x, 83% at 1x and 90% at the 2x dose rate. In contrast, herbicidal activity of ATLANTIS WG and ABAK was still at a high level with 89-92% at the 1x dose rate, but with a certain decline in control at the 0.5x rate. The loss in performance at the 0.5x rate was already significant for ATLANTIS WG but not for ABAK (Fig. 3).

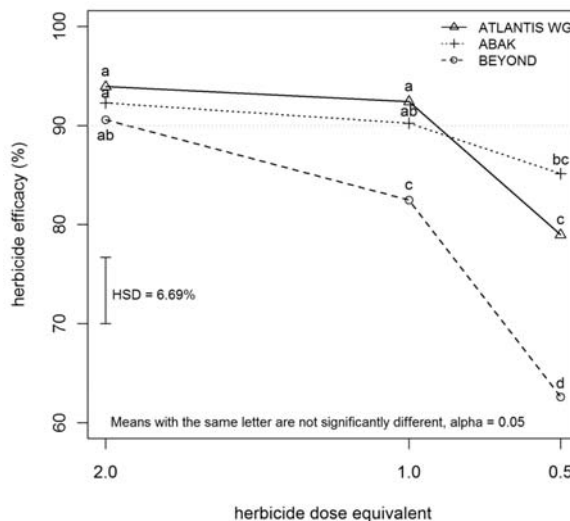


Abb. 3 Herbicide Wirkung von ALS-Inhibitoren auf Ackerfuchsschwanz (R²-Einstufung).

Fig. 3 Herbicidal activity of ALS-inhibitors on black-grass (R²- classification).

On black-grass biotypes with an RR-classification on BEYOND (n = 50), activity level strongly drops further to 43% at 0.5x, 62% at 1x and 79% at the 2x dose rate. However, declining activity at all dose rates of ATLANTIS WG and ABAK was observed as well with 71-72%, 79-85% and 85-92% control for dose rates of 0.5x, 1x and 2x respectively (Fig. 4).

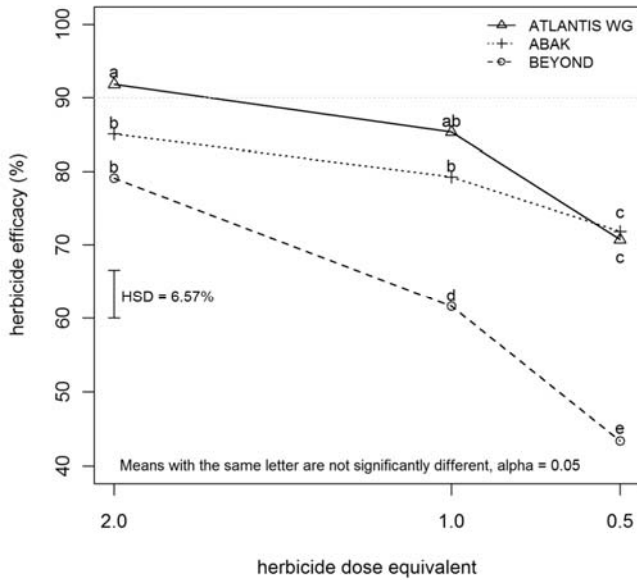


Abb. 4 Herbicide Wirkung von ALS-Inhibitoren auf Ackerfuchsschwanz (RR-Einstufung).

Fig. 4 Herbicidal activity of ALS-inhibitors on black-grass (RR- classification).

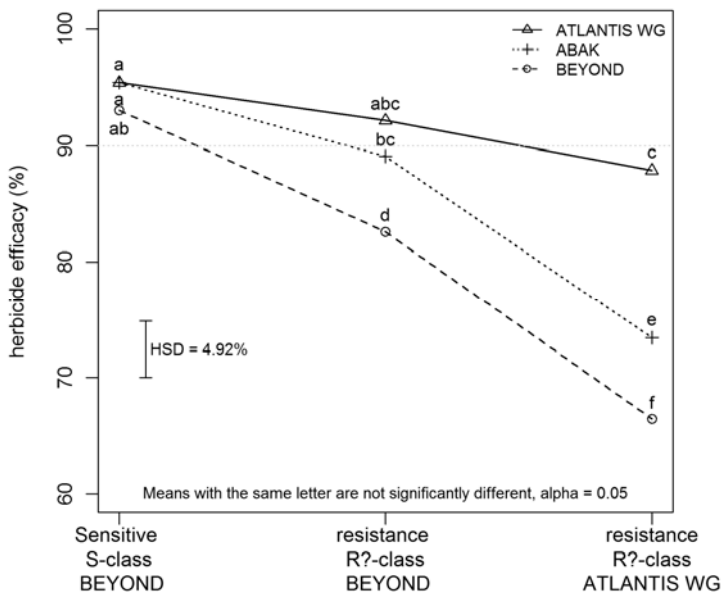


Abb. 5 Herbicide Wirkung von ALS-Inhibitoren auf Ackerfuchsschwanz unter Berücksichtigung verschiedener Stufen der Resistenzprägung bei Vorliegen einer Nicht-Wirkortresistenz.

Fig. 5 Herbicidal activity of ALS-inhibitors on black-grass considering different levels of resistance classes in presence of non-target-site resistance.

Figure 5 shows a summary of Figure 3 and 4 at the recommended field rate of the respective tested herbicides.

Comparing biotype groups of black-grass classified as either R? on BEYOND (n = 21) or ATLANTIS WG (n = 16), a much stronger decline in activity was observed for the R?-group of ATLANTIS WG than for those of BEYOND. Activity performance dropped for BEYOND 93%/83%/66%, ABAK 95%/89%/73% and ATLANTIS WG 95%/92%/88% for the S- and R?-class of BEYOND and R?-class of ATLANTIS WG respectively (Fig. 5).

Discussion

Imazamox based products were hardly used in European winter crop rotation before the introduction of CLEARFIELD®-winter oilseed rape in 2012. The only exception is the use of a ready-mixture with pendimethalin in winter beans in some areas of France and United Kingdom. Thus, the number of black-grass population not possessing an ALS-target-site mutation, but already conferring resistance to the active substance imazamox is surprisingly high. However, this is in line with the assumption that NTSR revealing an unpredictable risk for herbicide performance independent on the mode and site of action and the chemical class of the active substance. NTSR mechanism conferring to the more or less expressed resistance to imazamox in black-grass must have been selected by other grass weeds herbicides, such as ACCase- and other ALS-inhibitors frequently used in winter crop rotations.

The inherent activity of an active substance on a weed is influenced by several factors, such as rate of uptake and translocation, stability within the plant and inhibition level of the target enzyme(s). Active substances providing similar control on a weed may vary in one or several of these characteristics, which could then discriminate in the response of evolving NTSR-mechanism. Resistance profile of a population depends on the NTSR loci conferring resistance, their accumulation in the plant, inheritability and spread within the population (PETIT, 2010). As such, different populations or even individual plants within a population may vary in their response to various herbicides, requesting the testing of a larger number of accessions to provide a better overview how these principle findings apply under field conditions. A comparative setup of resistance monitoring and a more stringent use of the generated data do already provide additional useful information.

Activity of BEYOND declined stronger at the different resistance classes (R? & RR on BEYOND) compared to ATLANTIS WG and ABAK. One can assume that the underlying NTSR-mechanism are not effective enough yet to confer resistance to ATLANTIS WG and ABAK, but on BEYOND. A further accumulation of NTSR loci in individual plants of the population seems to be necessary for further evolving resistance towards these herbicides. This might happen already in those biotypes classified as R? for ATLANTIS WG. However, activity of BEYOND and ABAK were even stronger affected by the NTSR-mechanism present in these biotypes.

Resistance evolution is selection in progress and it requires selective pressure for a further enrichment or (re-) combination of NTSR resistance genes within the population. It is yet not understood whether and how different selection pressure due to the use of single products, tank-mixtures or sequence application do have an influence on the dynamic of accumulation, combination and spread of NTSR in a population.

The data presented does provide information on the different response of BEYOND, ATLANTIS WG and ABAK on NTSR present in a broad collection of black-grass accessions from different locations throughout major winter cropping areas in Western Europe. It is assumed that the difference in control level does translate into a difference in selection pressure as well.

In Germany, imazamox is registered in CLEARFIELD®-winter oilseed rape with a maximum dose rate of 12.5 g ai/ha, which is even well below the 0.5x dose rate (17,5 g ai/ha) tested. Thus, the declining activity response to the different groups of black-grass biotypes is even stronger, with a corresponding reduction in selection pressure.

References

- DÉLYE, C., Y. MENCHARI, J.-P. GUILLEMIN, A. MATEJCEK, S. MICHEL, C. CAMILLERI and B. CHAUVEL, 2007: Status of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in France. *Weed Res.* **47**, 95-105.
- MENDIBURU, F. DE, 2013: Package 'agricolea'; Statistical Procedures for Agricultural Research. <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu>. Accessed, August 2013.
- MOSS, S. R., J. H. CLARKE, A. M. BLAIR, T. N. CULLEY, M. A. READ, P. J. RYAN and M. TURNER, 1999: The occurrence of herbicide resistant grass-weeds in the United Kingdom and a new system for designating resistance in screening assays. *Proceedings of The 1999 Brighton Conference – Weeds* **3C-6**, 179-184.
- PETIT C., DUHIEU B., BOUCANSAUD K. and C. DÉLYE, 2010: Complex genetic control of non-target site based resistance to herbicides inhibiting acetyl-coenzyme A carboxylase and acetolactate-synthase in *Alopecurus myosuroides* Huds. *Plant Science* **178**, 501-509.
- R. DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010: R: A Language and Environment for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>. Accessed, June 2013.
- SIEVERNICH, B., M. PFENNING and A. MENEGAT, 2013: *Alopecurus myosuroides* – Variation in resistance profile, their geographical spread and impact on herbicidal control options in winter annual cropping systems. *Proceedings 16th Symposium EWRS 2013*, 291.

Resistenzausprägung von hetero- und homozygot resistenten Genotypen eines Acker-Fuchsschwanz-Biotypen mit Target-Site Resistenz (Haplotyp Leu1781) in Dosis-Wirkungsversuchen mit Clethodim und Cycloxydim

Degree of resistance of hetero- and homozygous resistant genotypes of a target-site resistant blackgrass biotype (haplotype Leu1781) in dose-response experiments with clethodim and cycloxydim

Jean Wagner^{1*} und Regina G. Belz²

¹Plantalyt GmbH, Vahrenwalder Str. 269A, 30179 Hannover

²Universität Hohenheim, Agroecology Unit (380b), 70593 Stuttgart

*Korrespondierender Autor, jean.wagner@plantalyt.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.012

Zusammenfassung

Anhand von Dosis-Wirkungsversuchen und molekularbiologischen Analysen wurde die Reaktion der Gesamtpopulation eines Biotyps von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) mit Target-Site Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren (Ile1781-Leu) auf die Wirkstoffe Clethodim und Cycloxydim mit der Reaktion der homozygoten (reinerbigen) und der heterozygoten (mischerbigen) Teilpopulation verglichen. Um die beobachtete Reaktion in die einer homo- und heterozygoten Teilpopulation aufzuschlüsseln, wurden individuelle Pflanzen bezüglich des Haplotyps Leu1781 mittels SNP-Analytik (Pyrosequencing) differenziert. Für die Gesamtpopulation ergaben sich signifikant unterschiedliche Resistenzfaktoren (RF) von 8 für Clethodim und 153 für Cycloxydim. Nach Korrelation der Phäno- und Genotypen ergab sich für die heterozygote Teilpopulation ein RF von 6 für Clethodim und 118 für Cycloxydim und für die homozygote Teilpopulation ein RF von 10 für Clethodim und 136 für Cycloxydim. Obwohl sich die RF der homo- und heterozygoten Teilpopulationen nicht signifikant unterschieden, zeigten die geringeren RF der heterozygoten Teilpopulationen den deutlichen Trend einer verringerten Resistenzausprägung. Lässt sich dieser Trend in weiteren Versuchen bestätigen, so kann angenommen werden, dass die Selektion von Resistenz in einer Feld-Population neben dem eingesetzten Wirkstoff auch von der Frequenz der Genotypen abhängig ist. Die beobachteten Unterschiede zwischen der Reaktion von Acker-Fuchsschwanz mit dem Haplotyp Leu1781 auf die Wirkstoffe Clethodim und Cycloxydim verdeutlichen zudem die Bedeutung der stets individuell zu betrachtenden Konstellation von Resistenzmechanismus, Genotyp und Wirkstoff für die Selektion und Ausbreitung von Resistenz.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, Dosis-Wirkungsversuche, Pyrosequenzierung, Target-Site Resistenz

Abstract

In dose-response experiments and by molecular analyses the reaction of a black grass biotype (*Alopecurus myosuroides*) with target site resistance to ACCase inhibitors (Ile1781-Leu) was examined for the response to clethodim and cycloxydim and compared to the responses of the homozygous and heterozygous sub-populations. To decipher the population into the homo- and heterozygous sub-populations, individual plants of the resistant biotype were analyzed for the haplotype Leu1781 by means of SNP analytics (pyrosequencing). For the entire population, significant different resistance factors (RF) of 8 and 153 resulted for clethodim and cycloxydim, respectively. For the heterozygous sub-population a RF of 6 was estimated for clethodim and 118 for cycloxydim. For the homozygous sub-population a RF of 10 for clethodim and 136 for cycloxydim was estimated. The RF between the homo- and heterozygous sub-populations for each herbicide were, however, not significantly different. Despite this, a tendency of the heterozygous sub-population being less resistant was indicated. Therefore, it is hypothesized that the selection of resistance depends not only on the herbicide used, but on the frequency of the genotypes in a field population. Furthermore, the significant different reaction of black grass with the haplotype 1781 to both tested herbicides reflects the meaning of the individual constellation of active ingredient, resistance mechanisms and genotype for selection and spread of resistance.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, dose-response, pyrosequencing, target-site resistance

Einleitung

Herbizidresistente Unkrautpopulationen sind eine Folge der chemischen Unkrautbekämpfung. Die Identifizierung von Resistenzmechanismen und Kenntnisse über die Ausprägung der Resistenz

in Abhängigkeit des eingesetzten Wirkstoffes, der Unkrautart und der Genotypenfrequenz in einer Gesamtpopulation sind elementare Grundlagen eines rationalen Resistenzmanagements (DELYE *et al.*, 2007). Eine wichtige Kenngröße zur Charakterisierung der Resistenzausprägung ist der Resistenzfaktor (RF), d.h. die Reaktion in Relation zu einem sensitiven Standard. Meist wird der RF als Quotient der ED₅₀-Werte der resistenten Population und einer sensitiven Referenzpopulation angegeben. ED₅₀-Werte kennzeichnen den Punkt einer Dosis-Wirkungsbeziehung, an dem 50 % einer Wirkung erzielt wird. Der Quotient ergibt eine dimensionslose Zahl, die ein Maß für die Herbizidsensitivität einer Population darstellt und spezifisch für jede Kombination von Herbizid, Unkrautart und Resistenzmechanismus ist. Je höher der RF einer Population, umso stärker die Resistenzausprägung und damit die Wahrscheinlichkeit, dass bei vorschriftsmäßiger Applikation unter Praxisbedingungen keine ausreichende Kontrolle möglich ist. Die Ermittlung der für die Bestimmung von RF-Werten notwendigen ED₅₀-Werte erfolgt als Summe der Reaktionen von Einzelpflanzen einer Population. Im Falle eines monogenetischen Resistenzmechanismus ergibt sich bei der Bestimmung des ED₅₀-Wertes einer Population das Problem, dass das Verhältnis der Frequenzen von sensitiven und hetero- bzw. homozygot resistenten Pflanzen in der Population einen Einfluss auf die Höhe des ED₅₀-Wertes und letztendlich auf den RF haben könnte. Die ED₅₀-Werte und damit auch die RF-Werte von resistenten Populationen dürften deshalb bei gleichem Resistenzmechanismus bei einer gegebenen Unkrautart von Feld zu Feld stark schwanken und mit anzunehmender Sicherheit selbst an einer Stelle eines Ackers von Jahr zu Jahr variieren.

Der Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) hat einen diploiden Chromosomensatz. Eine Target-Site Resistenz (TSR) beruht auf einem Allel bzw. einem Haplotyp und kommt beim Acker-Fuchsschwanz hetero- und homozygot vor. Eine beim Acker-Fuchsschwanz weit verbreitete Target-Site Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren ist der Haplotyp Leu1781 (DELYE, 2005). In sensitiven Pflanzen kodiert das Basen-Triplet ATA an der korrespondierenden Position 1781 im ACCase-Gen für die Aminosäure Isoleucin (Ile). Wird die erste Base des Triplets verändert (Abb. 1) resultiert das Triplet CTA oder TTA welches für die Aminosäure Leucin (Leu) kodiert. Die Konsequenz dieser punktuellen Veränderung ist eine verminderte Empfindlichkeit der ACCase gegenüber einer Inhibierung durch entsprechende herbizide Wirkstoffe. Dies wurde in verschiedenen Arbeiten durch Messung der ACCase-Aktivität von Target-Site resistenten Biotypen in Gegenwart verschiedener Wirkstoffe gezeigt (DELYE, 2005). Der Nachweis einer Target-Site Resistenz in Einzelpflanzen erfolgt über eine molekulargenetische Analyse. Mittels PCR werden dabei zunächst Fragmente der ACCase amplifiziert, um anschließend beispielweise durch verschiedene Techniken der SNP-Analytik (Single Nucleotide Polymorphism) die Target-Site Resistenz nachzuweisen und so letztendlich auch einen hetero- oder homozygoten Genotyp zu bestimmen (KAUNDUN und WINDASS, 2006; WAGNER *et al.*, 2008). Die Problematik der Aufspaltung einer resistenten Gesamtpopulation mit dem Haplotyp 1781 in sensitive, heterozygote und homozygote Genotypen ist für *Lolium* spp. bekannt (Yu *et al.*, 2007). Die Konsequenzen von Frequenzunterschieden in den drei Genotypen in Acker-Fuchsschwanz-Populationen für die Herbizidwirksamkeit und die Resistenzbewertung unter Praxisbedingungen sind nicht näher untersucht. Gleiches gilt für die Quantifizierung möglicher Unterschiede in der Sensitivität von hetero- und homozygoten Genotypen anhand von Dosis-Wirkungsversuchen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde deshalb die Reaktion einer Acker-Fuchsschwanz-Population mit Vorkommen einer Leu1781 Target-Site Resistenz gegenüber zwei ACCase-Wirkstoffen hinsichtlich folgender Versuchsfragen analysiert:

- a) Lassen sich unter Gewächshausbedingungen signifikante Unterschiede in der Ausprägung des Resistenzmechanismus bei der Anwendung von Clethodim und Cycloxydim quantifizieren und wie hoch sind die resultierenden RF?
- b) Wie wirkt sich eine heterozygote Resistenz im Vergleich zu einer homozygoten Resistenz aus und lassen sich signifikante Unterschiede zwischen homo- und heterozygot resistenten Pflanzen nachweisen?

Bei dem verwendeten resistenten Biotyp konnte in Voruntersuchungen das Vorkommen des Haplotyps Leu1781 bestätigt werden und das Vorkommen weitere Haplotypen (Trp/Cys1999, Trp/Cys2027, Ile/Asn2041, Asp/Gly2078, Cys/Arg2088, und Gly/Ala2096) weitgehend ausgeschlossen werden. Die Wahl der ACCase-Wirkstoffe fiel auf Clethodim und Cycloxydim, weil bei diesen derzeit eine metabolische Resistenz in *A. myosuroides* ausgeschlossen wird. Für die metabolische Resistenz bei *A. myosuroides* wird angenommen, dass diese bei den DIMs (ACCase Inhibitoren der Wirkstoffklasse der Cyclohexandione) nicht oder nur in geringem Umfang vorkommt (Moss *et al.*, 2003; KAUNDUN *et al.*, 2013). Für die vorliegende Arbeit wurde damit hypothetisch ausgeschlossen, dass sich andere Resistenzmechanismen als die TSR durch das Leu1781 in dem Biotyp ausprägen können. In Gewächshausversuchen wurden für beide Wirkstoffe Dosis-Wirkungsversuche durchgeführt und die behandelten Einzelpflanzen anschließend molekulargenetisch analysiert und in sensitiv, heterozygot oder homozygot klassifiziert. Anhand der für die Gesamtpopulation bzw. für die einzelnen Genotypen berechneten RF-Werte wurden die Unterschiede in der Resistenzausprägung bewertet.

Material und Methoden

Etablierung von Pflanzenbeständen im Gewächshaus und Herbizidapplikation.

Samen eines Biotyps von *A. myosuroides* mit TSR (BPL12_510; Leu1781) und eines Referenz-Biotyps (Ref_sens; Fa. Herbiseed, Twyford, England) wurden in Töpfe (Ø=10 cm) mit Lehmboden ausgesät und nach dem Auflaufen mit einer Pflanzendichte von 1 Pflanze/Topf in neue Töpfe pikiert. Bei Erreichen des BBCH 13 bis 15 wurden die Pflanzen mit den entsprechenden Aufwandmengen in 200 l/ha Spritzvolumen behandelt. Für den Wirkstoff Clethodim wurde das formulierte Produkt Select 240 EC (241,9 g a.i./l Clethodim) verwendet und für Cycloxydim das Produkt Focus Ultra (100 g a.i./l Cycloxydim). Von beiden Herbiziden wurden acht bzw. neun Dosierungen angesetzt. Die Aufwandmengen betragen 0,06 - 8,0 l/ha für Select 240 EC und 0,16 - 160 l/ha für Focus Ultra und wurden in einem Spritzstand ausgebracht. 21 Tage nach Behandlung wurden das Frischgewicht der Pflanzensprosse bestimmt.

Entnahme von Pflanzenproben, DNA-Extraktion und PCR.

Position in der Primärsequenz des Enzyms ACCase			
... 1780 - 1781 - 1782...			
sensitive Pflanze			
... AAC	-	<u>A</u> TA	- CAT ... DNA-Sequenz
... Asn	-	<u>I</u> le	- His ... Aminosäure
resistente Pflanze			
... AAC	-	<u>C</u> TA	- CAT ... DNA-Sequenz
... Asn	-	<u>L</u> eu	- His ... Aminosäure

Abb. 1 DNA-Sequenz in sensitiven und resistenten Pflanzen an der korrespondierenden Stelle 1781 im Protein und abgeleitete Aminosäuren. Asn=Asparagin, Ile=Isoleucin, Leu=Leucin, His=Histidin.

Fig. 1 DNA-sequence in sensitive and resistant plants at the corresponding position 1781 of the protein and coded amino acids. Asn=asparagine, Ile=isoleucine, Leu=leucine, His=histidine.

Nach Bestimmung der Frischgewichte wurden pro Einzelpflanze ca. 2 cm lange Blattstücke von vitalen Blättern abgeschnitten und bei Raumtemperatur getrocknet. Nach Trocknung wurde die DNA der Pflanzen mit einem kommerziell erhältlichen Kit zur DNA Aufreinigung (DNeasy Plant Mini Kit, Fa. Qiagen, Hilden, Deutschland) extrahiert. Die DNA-Extrakte wurden als Template in einer PCR eingesetzt um die entsprechenden Abschnitte des ACCase-Gens, die für das Ile/leu1781 kodieren (Abb. 1), zu amplifizieren.

Für die Amplifikation wurden die Primer Fwd-Pyr-ACCCase1781 und Rev-Pyr-ACCCase1781 eingesetzt (Tab. 1). Als Ausgangsbasis für das Primerdesign diente die genetische Information für die ACCCase von *A. myosuroides* in der Datenbank des NCBI (National Center for Biotechnology Information, USA) mit der Bezeichnung AJ310767. Das zu erwartende Fragment betrug 182 bp. Die PCR wurde in einem Volumen von 25 µl mit einem kommerziellen Master-Mix Kit (Taq PCR Master Mix Kit, Fa. Qiagen, Hilden, Deutschland) durchgeführt. Die Konzentration der Primer betrug jeweils 0,4 µM und als PCR-Template wurden 3 µl der DNA-Extrakte eingesetzt.

Tab. 1 Primer zur Amplifikation des ACCCase-Abschnittes, der die Sequenz für Ile/Leu 1781 enthält.

Tab. 1 *Primer for the amplification of the ACCCase section containing the sequence for Ile/Leu 1781.*

Primer	Sequenz (5'-3')	Annealing-Temp.	Länge des PCR-Fragments
Fwd-Pyr-ACCCase1781	gcacaagaatgcagctagatagt	53 °C	182 bp
Rev-Pyr-ACCCase1781	tccgattccaacagttcgt		

Die Reaktion wurde in einem Thermocycler (Eppendorf Mastercycler® gradient, Fa. Eppendorf AG, Hamburg, Deutschland) mit folgendem Temperaturprofil gefahren: Denaturierung bei 94 °C für 5 min, danach 40 Zyklen (Denaturierung: 94 °C, 20 s; Annealing: 54 °C, 20 s; Elongation: 72 °C, 20 s). Die PCR-Produkte wurden mittels Pyrosequencing (RONAGHI und ELAHI, 2002) auf einem Pyrosequencer (PSQ 96MA, Fa. Qiagen, Hilden, Deutschland) analysiert. Für die Sequenzierung wurde der Primer Seq-ACCCase1781 (Tab. 2) verwendet.

Tab. 2 Primer zur Sequenzierung und Pipettierschema der Nukleotide (Sequence to Analyze) im Pyrosequencing-Verfahren.

Tab. 2 *Primer for sequencing and pipetting scheme of the nucleotides (Sequence to Analyze) in the pyrosequencing procedure.*

Sequenzier-Primer	Sequenz (5'-3')	Sequence to Analyze
Seq-ACCCase1781	atggactaggtgtggagaac	htacatggaagtgctgctattgccag ¹

¹h=Nukleotid in der Sequenz; kann A, C oder T sein

Statistische Analyse. Die Berechnung der Dosis-Wirkungskurven für den Parameter Frischgewicht erfolgte unter Verwendung des nichtlinearen Regressionsmodells von STREIBIG (1988) mittels IBM® SPSS® Statistics 20. Für jeden Wirkstoff wurde die Dosis-Wirkungsbeziehung der Gesamtpopulation modelliert und nach molekulargenetischer Auftrennung der Population in hetero- und homozygote Einzelpflanzen auch für die misch- und reinerbigen Teilpopulationen. Mittels *F*-Test ($\alpha=0.05$) wurde die Signifikanz unterschiedlicher Kurvenverläufe geprüft. Resistenzfaktoren für die resistenten Populationen (R) wurden anhand der ermittelten ED₅₀-Werte als Quotient ED₅₀ (R)/ED₅₀ (Ref_sens) berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Resistenzfaktoren für Clethodim und Cycloxydim.

Die Dosis-Wirkungsbeziehungen (Abb. 3) ergaben für die sensitive Population einen ED₅₀ von 0,029 l/ha für Select 240 EC (Clethodim) und 0,161 l/ha für Focus Ultra (Cycloxydim). Für die resistente Population BPL12_510 ergab sich ein ED₅₀ von 0,234 l/ha für Select 240 EC und 24,29 l/ha für Focus Ultra. Der Resistenzfaktor (RF) lag somit für Focus Ultra bei 153 und für Select 240 EC bei 8. Die ED₅₀ der gesamten Population unterschieden sich für die beiden Wirkstoffe statistisch signifikant voneinander. Beide Produkte übten somit einen unterschiedlich hohen Selektionsdruck auf Pflanzen mit dem Haplotyp Leu1781 aus. Die unterschiedlichen Resistenzfaktoren für beide Wirkstoffe lassen in Ableitung daraus die Hypothese zu, dass das Vorkommen der TSR Ile/Leu1781 in einer Population die Empfindlichkeit der Pflanzen für

formulierte Produkte bzw. einzelne Wirkstoffe unterschiedlich stark beeinflusst. Focus Ultra sollte aufgrund der stärkeren Resistenzausprägung stärker auf Leu1781 selektieren als Select 240 EC. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass für jede individuelle Kombination von Wirkstoff und Resistenzmechanismus im Ackerfuchsschwanz eine unterschiedlich stark ausgeprägt Resistenz angenommen werden kann. In der Praxis wird häufig nach der Erfahrung des Autors von einer "totalen Resistenz" bei einer wirkortspezifischen Resistenz und einer partiellen Resistenz bei einer metabolischen Resistenz gesprochen. Das hier aufgeführte Beispiel für Ackerfuchsschwanz, dem Haplotyp Leu1781 und den Herbiziden Select 240 EC und Focus Ultra macht deutlich, dass eine pauschale Zuordnung von Teilwirkungen (Ausreizung der Wirkungsreserven bei niedrigen RF) zu einer metabolischen Resistenz als Mechanismus nicht gemacht werden kann. In dieser Arbeit wurde mit Herbiziden gearbeitet, deren Wirkstoffe (DIMs) die Beteiligung anderer Mechanismen als die durch das Leu1781 verursachte TSR weitgehend ausschließen. Somit lässt sich die beobachtete extrem unterschiedliche Reaktion gegenüber Focus Ultra und Select 240 EC auf nur einen Resistenzmechanismus zurückführen. Eine TSR kann sich jedoch in diploiden Unkräutern wie dem Acker-Fuchsschwanz homo- und heterozygot ausprägen. Die zweite Fragestellung in diesem Beitrag lautete daher wie sich der Genotyp einer resistenten Acker-Fuchsschwanzpflanze auf die Resistenzausprägung auswirkt. Dazu wurden die phänotypische und genotypische Reaktion miteinander korreliert und die jeweiligen Dosis-Wirkungskurven berechnet.

Differenzierung homo- und heterozygot resistenter Genotypen

Mittels Pyrosequencing wurden die Allele identifiziert und die behandelten Einzelpflanzen genotypisiert. Die PCR-Produkte jeder einzelnen Pflanze enthalten i.d.R. immer die Information über die Abschnitte des ACCase-Gens beider Chromosomen eines diploiden Satzes. Somit gibt es bezogen auf die beiden Haplotypen Ile1781 (sensitiv) und Leu1781 (TSR) immer drei Genotypen des Acker-Fuchsschwanz: homozygot sensitiv, heterozygot resistent und homozygot resistent. Heterozygot resistent bedeutet, dass in der Pflanze sowohl das resistente wie auch das sensitive Allel der ACCase (der allgemein: des Target-Gens) zugleich vorkommen. Sie tragen beide Erbkomponenten zu je 50 %. Aufgrund dessen könnte eine Resistenz in heterozygoten Pflanzen abgeschwächer auftreten als in homozygoten Pflanzen, was zu einem niedrigeren Resistenzfaktor als bei homozygoten Pflanzen führen würde. Zur Klärung dieser Hypothese wurden die überlebenden Pflanzen aus verschiedenen Dosierungen mittels Pyrosequencing auf ihren Genotyp hin analysiert und im Anschluss in eine hetero- und homozygote Teilpopulation gruppiert. In Abbildung 2 sind die Pyrogramme für sensitive, heterozygot resistente und homozygot resistente Pflanzen dargestellt. Die PCR-Produkte enthalten immer Informationen beider Allele. Die gelb hervorgehobenen Bereiche in Abbildung 2 markieren den Bereich der Sequenz, der variieren kann. Die Anschluss-Sequenz ACA ist für alle Proben gleich und dient als Qualitätskontrolle einer erfolgreichen Sequenzierung. Die Sequenz kann für sensitiv (ATA) und homozygot resistent (CTA) abgelesen werden. Bei einer heterozygoten Pflanze finden sich die Nukleotide A und C zu je 50 % vertreten (Abb. 2).

In der Select 240EC (Clethodim)-Behandlung wurden insgesamt 52 Pflanzen molekulargenetisch analysiert (Tab. 3, links). Zusätzlich wurden 15 Pflanzen aus verschiedenen Dosierungen (0,03 - 0,25 l/ha) der sensitiven Referenz analysiert. Sie zeigten alle den sensitiven Genotyp ATA. Die resistenten Pflanzen des Biotyps BPL12_510 zeigten unterschiedliche Anteile (Frequenzen) der beiden Genotypen A/CTA (heterozygote) und CTA (homozygote) mit einer Frequenz von 0,23 für den heterozygoten Genotyp und 0,77 für den homozygoten.

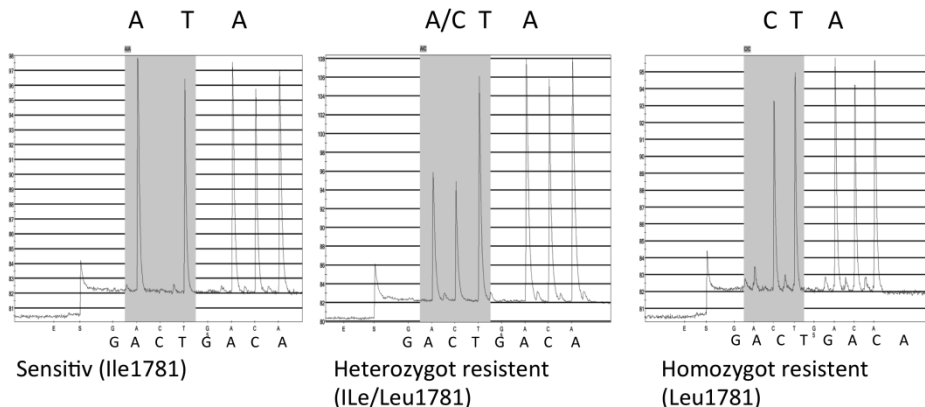


Abb. 2 Pyrogramme von sensitiven, mischerbigen (heterozygoten) und homozygot resistenten Pflanzen des Acker-Fuchsschwanz an der Position 1781 der ACCase.

Fig. 2 Pyrogram of sensitive, heterozygot, and homozygot resistant plants of blackgrass at position 1781 on the ACCase.

Tab. 3 Summe der Analysen des Genotyps der Pflanzen aus den entsprechenden Dosierungen nach Select 240EC (Clethodim)-Behandlung (links) und nach Focus Ultra (Cycloxydim)-Behandlung (rechts).

Tab. 3 Summary of the analyses of resistant plants from the respective doses after treatment with Select 240EC (clethodim) (left) and Focus Ultra (cycloxydim) (right).

Select240EC Clethodim (l/ha)	Summe analysierter Pflanzen	Genotyp A/A (sensitive)	Genotyp A/C (hetero- zygot; resistent)	Genotyp C/C (homo- zygot; resistent)	Focus ULTRA Cycloxy- dim (l/ha)	Summe analy- sierter Pflanzen	Genotyp A/A (sensitive)	Genotyp A/C (heterozygot; resistent)	Genotyp C/C (homozygot; resistent)
0,060	7	0	2	5	0,160	5	0	3	2
0,125	7	0	0	7	0,600	5	0	0	5
0,250	7	0	1	6	1,250	5	2	2	1
0,5	7	0	2	5	2,5	9	1	3	5
1,0	7	0	2	5	10,0	9	0	2	7
2,0	7	0	3	4	20,0	7	0	3	4
4,0	7	0	2	5	40,0	7	0	2	5
8,0	3	0	0	3	80,0	3	0	0	3
-					160,0	4	1	3	0
Summe	52	0	12	40	Summe	54	4	18	32
Frequenz		0	0,23	0,77	Fre- quenz		0,07	0,33	0,59

Aus der Focus Ultra (Cycloxydim)-Behandlung wurden 54 Pflanzen analysiert (Tab. 3, rechts). Zusätzlich wurden auch hier 12 Pflanzen aus verschiedenen Dosierungen der sensitiven Referenz analysiert, welche alle den sensitiven Genotyp ATA aufwiesen. Die resistenten Pflanzen zeigten unterschiedliche Anteile der zwei Genotypen mit einer Frequenz von 0,33 für A/CTA (heterozygot) und 0,59 für CTA (homozygot). Darüber hinaus zeigten vier überlebende Pflanzen nach Focus Ultra (Cycloxydim)-Behandlung das sensitive Allel A/A (Frequenz = 0,07). Das Vorkommen sensitiver Allele könnte dadurch bedingt gewesen sein, dass die Pflanzen zwar letal geschädigt waren, aber noch nicht vollständig abgestorben waren. Eine andere Interpretation wäre, dass ein anderer Haplotyp vorlag, der jedoch aufgrund der im Vorfeld durchgeführten Stichprobenanalyse nicht detektiert wurde.

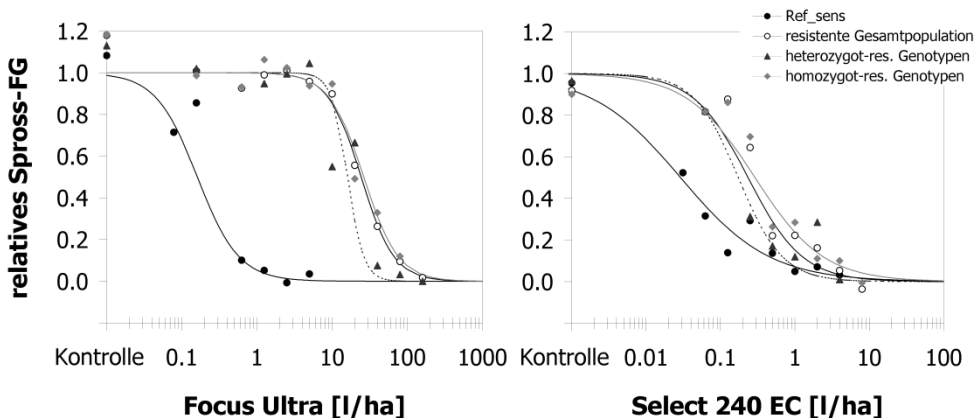


Abb. 3 Dosis-Wirkungsbeziehungen eines Clethodim (Select 240EC)- bzw. Cycloxydim (Focus Ultra)-haltigen Herbizids auf die Gesamtpopulation eines sensitiven (Ref_sens) und eines resistenten Biotyps von *Alopecurus myosuroides* sowie der homo- bzw. heterozygot-resistenten Teilpopulationen.

Fig. 3 Dose-response relationship for a clethodim (Select 240EC) and cycloxydim (Focus Ultra) containing herbicide on the overall population of a sensitive (Ref_sens) and a resistant biotype of *Alopecurus myosuroides* as well as the homo- and heterozygous-resistant sub-populations.

Für die Dosis-Wirkungsbeziehung der heterozygoten Teilpopulation (Ile/Leu1781) und Select 240EC (Clethodim, Abb. 3) wurde ein ED₅₀ von 0,17 l/ha ermittelt. Im Verhältnis zur sensitiven Referenzpopulation ergab sich somit ein signifikanter RF von 6, der damit unter dem RF der Gesamtpopulation lag. Der ED₅₀ der homozygoten Teilpopulation betrug 0,29 l/ha und der resultierende RF 10, der damit über dem RF der Gesamtpopulation und der heterozygoten Teilpopulation lag. Die ED₅₀-Werte der hetero- und homozygoten Teilpopulationen waren jedoch nicht signifikant verschieden voneinander.

Für Focus Ultra (Cycloxydim, Abb. 3) konnte für die heterozygote Teilpopulation eine Dosis-Wirkungsbeziehung mit einem ED₅₀ von 21,98 l/ha ermittelt werden. Der resultierende RF betrug 137 und war damit ebenfalls geringer als der RF der Gesamtpopulation. Der ED₅₀ der homozygoten Teilpopulation betrug 26,32 l/ha und der resultierende RF 164, der somit höher war als der RF der Gesamtpopulation und der heterozygoten Teilpopulation. Die ED₅₀-Werte von hetero- und homozygoter Population waren jedoch auch für Cycloxydim nicht signifikant verschieden voneinander, jedoch jeweils signifikant höher als der Wert der sensitiven Referenzpopulation.

Obwohl jeweils keine signifikanten Unterschiede zwischen homo- und heterozygot resistenten Genotypen beobachtet wurden, zeigte sich bei beiden Wirkstoffen der gleiche Trend, dass heterozygote Pflanzen eine schwächere Resistenzausprägung zeigten als homozygote Pflanzen. Dies könnte durch das in den heterozygot-resistenten Pflanzen immer noch vorhandene sensitive Allel der ACCase zustande kommen. Die Gesamtpopulation als Mischpopulation hetero- und homozygoter Genotypen lag bei beiden Wirkstoffen in der Resistenzausprägung zwischen den Teilpopulationen.

Lässt sich der in dieser Studie beobachtete Trend in weiterführenden Untersuchungen bestätigen, so könnte eine Quantifizierung der Herbizidresistenz in Abhängigkeit von der Ausprägung der Haplotypen zu einer detaillierteren Kenntnis der Populationsstruktur und des Resistenzniveaus führen. Eine Aufschlüsselung und Beschreibung der Allelausprägung in Unkrautbiotypen könnte zu präziseren Resistenzfaktoren für einzelne Unkrautarten führen und zu einem besseren Verständnis der Resistenzdynamik innerhalb einer Unkrautpopulation. Weiterführende Untersuchungen zur Dynamik der Etablierung homozygot- bzw. heterozygot-resistenter

Einzelpflanzen könnten somit für die Resistenzentwicklung von Interesse sein. Weiterhin könnte eine Klassifizierung von Wirkstoffen und Resistenzmechanismen nach Höhe ihres Selektionsdrucks Chancen für einen optimierteren Wirkstoffwechsel ergeben.

Danksagung

R.G. Belz wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert (DFG), Projekt BE 4189/ 1-1).

Literatur

- DELYE, C., 2005: Weed resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibitors: an update. *Weed Sci.* **53**, 728-746.
- DELYE, C., Y. MENCHARI, J-P. GUILLEMIN, A. MATEJICEK, S. MICHEL, C. CAMILLERIA und B. CHAUVEL, 2007: Status of black grass (*Alopecurus myosuroides*) resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in France. *Weed Res.* **47**, 95-105.
- KAUNDUN, S. S. und J. D. WINDASS, 2006: Derived cleaved amplified polymorphic sequence, a simple method to detect a key point mutation conferring acetyl CoA carboxylase inhibitor herbicide resistance in grass weeds. *Weed Res.* **46**, 34-39.
- KAUNDUN, S. S., S-J. HUTCHINGS, R.P. DALE und E. MCINDOE, 2013: Role of a novel I1781T mutation and other mechanisms in conferring resistance to acetyl-CoA carboxylase inhibiting herbicides in a black-grass population. *PLoS One.* **8(7)**, doi:10.1371/journal.pone.0069568.
- MOSS, S. R., K. M. COCKER, A. C. BROWN, L. HALL und L. M. FIELD, 2003: Characterisation of target-site resistance to ACCase-inhibiting herbicides in the weed *Alopecurus myosuroides* (black-grass). *Pest Manag. Sci.* **59**, 190-201.
- STREIBIG, J. C., 1988: Herbicide bioassay. *Weed Res.* **28**, 479-484.
- RONAGHI, M. und E. ELAHI, 2002: Discovery of single nucleotide polymorphisms and mutations by Pyrosequencing. *Comp. Funct.Genomics*, **3**, 51-56.
- WAGNER, J., B. LABER B, H. MENNE und HJ. KRAEHMER, 2008: Rapid analysis of target-site resistance in blackgrass using pyrosequencing® technology. *Proceedings 5th International Weed Science Congress, 23-27 June 2008, Vancouver, Canada.*
- YU Q, A. COLLAVO, M.Q. ZHENG, M. OWEN und S.B. POWLES, 2007: Diversity of acetyl-coenzyme mutations in resistant *Lolium* populations: evaluation using clethodim. *Plant Physiol.* **145**, 547-558.

Sektion 2: Klimawandel, Populationsdynamik und Biodiversität

Section 2: Climate change, population dynamics and biodiversity

Use of the crop maize to reduce yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) pressure in highly infested fields in Switzerland

Mais als mögliche Sanierungskultur für stark mit Erdmandelgras (Cyperus esculentus L.) verseuchte Flächen in der Schweiz

Martina Keller^{1*}, Jürgen Krauss¹, Reto Neuweiler¹ and René Total¹

¹ Forschungsgruppe Extension Gemüsebau Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil/ Schloss 1, 8820 Wädenswil, Schweiz

*Corresponding author, martina.keller@agroscope.admin.ch



DOI 10.5073/jka.2014.443.013

Abstract

Cyperus esculentus L. causes high yield losses in many crops worldwide. In Switzerland it was observed for the first time about 30 years ago. Since then it has become a serious weed in several regions - especially where vegetables are produced. Growing vegetables in heavily infested fields should be abandoned due to their low competitiveness and the lack of available, effective herbicides. Contrarily, in maize several herbicides with a partial effect on *C. esculentus* are registered. Thus, continuous cultivation of maize including the use of the most effective herbicides against *C. esculentus* could help reducing infestation levels in heavily infested fields.

Field trials were carried out at two sites in maize during 2011 and 2012. Different herbicide combinations, hoeing and herbicide applications combined with hoeing were the applied treatments. Split application was compared with one single application of the same amount of product. The effect of an additional, late under leaf herbicide application was determined as well.

Cyperus esculentus coverage was estimated in the fields in 2011. Plots were sampled in spring 2011, autumn 2011 and autumn 2012. The Number of *C. esculentus* sprouts germinated from the soil samples was determined under greenhouse conditions.

The most effective herbicide combination of registered active ingredients was rimsulfuron and mesotrione. S-metolachlor was effective as well, especially if combined with mechanical weed control. Halosulfuron-methyl applied twice provided the best *C. esculentus* control. Split application tended to be more effective than a single application. Control of *C. esculentus* could be improved considerably with an additional herbicide application in late June (under leaf).

The treatments with highest *C. esculentus* control determined in the field trials and combinations thereof are effective treatment options for *C. esculentus* control in maize. These findings indicate and confirm that maize cropped for several years with intensive weed control could successfully decrease *C. esculentus* infestation levels in farmers' fields.

Keywords: Halosulfuron-methyl, late application, mechanical weed control, S-metolachlor, splitting

Zusammenfassung

Cyperus esculentus verursacht in vielen Kulturen weltweit erhebliche Ertragsausfälle. In die Schweiz wurde es etwa vor 30 Jahren eingeschleppt. Seither ist es in mehreren Regionen zu einem Problemunkraut geworden – besonders in Gemüsebauregionen. Der Anbau von Gemüsekulturen auf betroffenen Flächen ist jedoch nicht sinnvoll, da deren Konkurrenzkraft gering ist und keine wirksamen Herbizide zur Verfügung stehen. Im Gegensatz dazu sind im Mais mehrere Herbizide mit einer Teilwirkung auf *C. esculentus* zugelassen. Daher könnte Maisanbau über mehrere Jahre kombiniert mit intensivem Einsatz von Herbiziden den Befallsdruck in stark befallenen Flächen reduzieren.

Feldversuche wurden an zwei Standorten 2011 und 2012 in Mais durchgeführt. Verschiedene Herbizidkombinationen, Hacken sowie Herbizide kombiniert mit Hacken wurden untersucht. Zudem wurde die Wirkung einer Splittingapplikation mit einer einmaligen Anwendung derselben Aufwandmenge verglichen und die Wirkung einer Spätapplikation (unter Blatt) untersucht.

Die *C. esculentus* Bedeckung wurde im Sommer 2011 im Feld bonitiert. Die Parzellen wurden im Frühjahr 2011, Herbst 2011 und Herbst 2012 beprobt. Die Bodenproben wurden im Gewächshaus angetrieben und anhand der Anzahl der Erdmandelgraskeimlinge wurde die Wirkung der Versuchsglieder bestimmt.

Die wirksamste Herbizidmischung zugelassener Wirkstoffe war Rimsulfuron und Mesotrione. S-metolachlor war auch wirksam, besonders in Kombination mit mechanischer Unkrautkontrolle. Mit Halosulfuron-methyl wurde die beste Wirkung auf *C. esculentus* erzielt. Grundsätzlich war eine Splittingapplikation wirksamer als eine einmalige Behandlung. Die Bekämpfung von *C. esculentus* konnte noch verbessert werden, wenn zusätzlich eine Spätapplikation (Ende Juni, Unterblatt) erfolgte.

Aus unseren Ergebnissen können Landwirte mehrere wirksame Optionen zur Bekämpfung von Erdmandelgras in Mais ableiten. Die Ergebnisse der wirksamsten Versuchsglieder zeigen und bestätigen, dass ein intensiver Maisanbau kombiniert mit konsequenter Bekämpfung über die Jahre den Befallsdruck zu reduzieren vermag.

Stichwörter: Halosulfuron-methyl, mechanische Unkrautkontrolle, S-metolachlor, Spätapplikation, Splitting

Introduction

Cyperus esculentus (yellow nutsedge) causes high yield losses in many regions and many crops worldwide (KEELEY, 1987). Originally, *C. esculentus* was confined to warmer regions and its natural habitat were riparian areas. Today it is found also in regions with colder climate (RIEMENS *et al.*, 2008; ANONYMOUS). In Switzerland it was observed for the first time about 30 years ago. In the meantime it has spread to several regions and has become a difficult to control weed especially in vegetable growing areas. *C. esculentus* reproduces vegetatively by forming tubers in the soil (RIEMENS *et al.*, 2008). These tubers are the overwintering plant parts and are easily transported mainly with machinery, infested soil, planting material or harvesting remains. The former is becoming more and more relevant because of the region-wide operating contractors. Infested fields should be managed last and neither soil, nor planting material nor harvesting remains should be transported from affected fields to other fields. The thorough cleaning of machinery at the spot further reduces the risk of dispersal (these advices can be found in leaflets of different extension services, reports or articles e.g. KELLER *et al.* (2013)).

It is crucial to stop further dispersal of *C. esculentus*. If *C. esculentus* is carried to a new field, early detection is of high importance. Small patches can still be removed with moderate effort. For already highly infested fields strategies need to be found to reduce infestation pressure of *C. esculentus* to a steadily low level. In the long run the eradication of *C. esculentus* in these fields should be aimed at. Vegetable crops, sugar beet and potatoes should not be grown in infested fields, because these crops are of low competitiveness, little effective control measures are available and the risk of transporting tubers to new fields is high.

Several herbicides with some efficacy are registered for use in Switzerland, the majority of them in maize (*Zea mays* L.). Several aspects suggest the planting of maize to reduce *C. esculentus* pressure in heavily infested fields: i) the range of herbicides available (ANONYMOUS), ii) the possibility to hoe, iii) the similar germination requirements of yellow nutsedge and maize (RIEMENS *et al.*, 2008) allowing to optimize timing of weed control, iv) the strong shading of maize plants after canopy closure (KEELEY, 1987), and v) the low risk of further spreading.

Thus, the aims of this study were i) to test different herbicides and herbicide combinations for their efficacy against *C. esculentus* in maize, ii) to investigate the effect of splitting and a late herbicide application, iii) to investigate the effect of mechanical control and the combination of it with chemical control measures.

Material and Methods

Field trials were installed at site A (47.386358°; 9.635847°, 406m) and site B (47.187080°, 7.723559, 260m) in 2011 and 2012. The trials were carried out at the same coordinates in both years to investigate the effect over years in promising treatments. The soil at site A is a loamy clay and has a high organic content, average temperature in 2011 was 11.7 °C and in 2012 10.2 °C. Annual precipitation was 1302 mm in 2011 and 1322 mm in 2012 (nearest by weather stations,

www.agrometeo.ch). At site B soil type is loam, average temperature was 9.9 °C in 2011 and 9.2 °C in 2012. In 2011 annual precipitation was 1819 mm and in 2012 1937 mm (nearest by weather station, www.agrometeo.ch). The sites were chosen because *C. esculentus* infestation was relatively high and the farmers were willing to participate. Maize was cropped according to regional practices.

At site "A" three trials with a randomized complete block design each were carried out: In experiment 1 mainly single herbicide treatments and the effect of splitting were investigated. There were 4 replicates; plot size was 6 m by 10 m. For splitting the plot of the respective herbicide combination was split in two subplots: in subplot "a" the herbicide was applied as a single application and in subplot "b" as split application (two applications). In experiment 2, hoeing and herbicide application combined with hoeing was tested with two replicates. Plot size was 6 m by 20 m. In experiment 3, different herbicides were combined and up to three applications were carried out. Plot size was 6 m by 10 m with three replicates. At site B, experiment 1 and experiment 2 were carried out, accordingly.

Treatment levels carried out in 2011 are given in Table 1. In treatment 12₂₀₁₁, a third application with bentazon was scheduled, but could not be carried out. Thus, treatment 11₂₀₁₁ and 12₂₀₁₁ were identical. Some of the treatments were replaced by more promising herbicide treatments in 2012 (Tab. 2).

Herbicide application took place at the 3 leaf stage of maize (first split or single application) and at the 6 leaf stage (second split) with an experimental plot sprayer (1.7 bar, IDK 12002 nozzles, 3.6 km/h, nozzle distance 0.25 m, 400 L/ha/L/ha). Late herbicide application was carried out at a maize height of about 2 m in late June with a backsprayer (Foxmotori.IT, IDK 12002 nozzles, 2 bar, 400 L/ha). 0.5 L/ha Excell (anionic surfactants) (2011) and 0.5 L/ha Break-thru (trisiloxane based) (2012) were added to the post-emergence applications (POST) to enhance spreading and wetting of the *C. esculentus* plants. For treatment C₂₀₁₁, S-metolachlor was applied after sowing and one day before sowing in treatment B and C₂₀₁₂. The combined sowing machine ensured incorporation of the herbicide into the soil. Hoeing was carried out twice using a tool carrier (FOBRO-Mobil, Bärtschi-FOBRO AG) according to weather condition of the respective year. Two rows at a time were hoed. Plot length of these treatments was doubled to ensure optimal working conditions in the inner part of the plots where samples were taken.

Before initiation of the trials in spring 2011, and after experimentation in autumn 2011 and in autumn 2012, 4 soil samples were taken within each plot and subplot (treatments in which splitting was compared) and pooled to a bulk sample (10 L soil). Soil samples were stored for some weeks at 0°-1°C to mimic the cold season. Thereafter, they were transferred into shallow pots in the greenhouse. The number of *C. esculentus* sprouts emerged after 8 weeks were counted (N_{CE}) in the greenhouse. For the initially taken soil samples in spring 2011 the number of *C. esculentus* sprouts emerged after 4 weeks was only recorded. For experiment 3 no initial soil samples could be taken.

To investigate the relationship between N_{CE} determined in the greenhouse and *Cyperus esculentus* coverage estimated in the field, *Cyperus esculentus* coverage estimated in the fields 8 weeks (site A) and 7 weeks (site B) after the second split application in 2011 and N_{CE} of the soil samples taken in autumn 2011 were correlated.

Due to the low number of sites and years, trials were analyzed separately. In experiment 1 two treatment levels were exchanged after the first year of experimentation (2011). In experiment 2, one treatment was replaced. In experiment 3, five treatments were modified. To account for the different plot history due to different infestation levels at trial start and due to these changes in the treatments (compare Tab.1 and Tab.2), number of *C. esculentus* sprouts counted in the greenhouse in the soil samples of the previous year in the respective plot or subplot were included as co-variable in the model, if data was available. The model presented in the syntax according to PIEPHO *et al.* (2004) in equation 1 was employed for analyses.

$$N_{CE} = \text{treatment} + N_{CE_year_before} + \text{block}; \underline{e} \quad 1)$$

Where N_{CE} denotes number of emerged *C. esculentus* sprouts after 8 weeks in the greenhouse per 10-L soil, *treatment* denotes the factor treatment. For the trial year 2012, $N_{CE_year_before}$ is the number of emerged *C. esculentus* sprouts after 8 weeks in the greenhouse per 10 L soil in the same plot/subplot the year before. For 2011, the number of *C. esculentus* sprouts emerged after 4 weeks in the greenhouse from the initially taken soil samples served as co-variable for the analyses; block codes for the replicates and \underline{e} denotes the error. Block was taken as fixed effect. Subplot error was not accounted for. The co-variable $N_{CE_year_before}$ was dropped from the model if its estimate was positive and clearly above zero and lack of fit test indicated that the two models were not significantly different. Analyses were carried out in R (R CORE TEAM, 2012), using the default packages and the 'lsmmeans' package (LENTH, 2013). If lsmmeans (least-squares means) estimates were below zero, value was adjusted to zero. For the relationship between *C. esculentus* coverage and N_{CE} a simple linear model was employed for site A and site B.

Results

At the beginning of the trials, N_{CE} averaged 6.2 and 14.9 per 10 L soil at site A and site B, respectively. Infestation of *C. esculentus* was highly variable and patchy within the fields. This resulted in considerable variation within the trials. Apart from *C. esculentus* main weeds were *Polygonum persicaria* and millets (mainly *Echinochloa crus-galli*).

The linear models explained only 3.5% (site A) and 16% (site B) of the variance (adjusted R^2 in %) and no clear relationship could be found between *C. esculentus* coverage and N_{CE} (Fig. 1).

In experiment 1, there was a trend of lower N_{CE} in the split treatment of mesotrione (3b) compared with single application of mesotrione (3a) in three out of four trials (Tab. 1 and Tab. 2). In contrast, for nicosulfuron (4a₂₀₁₁, 4b₂₀₁₁) and the herbicide containing isoxaflutole and thien carbazon (4a₂₀₁₂, 4b₂₀₁₂) no difference could be observed between single application and splitting. For 4b₂₀₁₁ and 4a₂₀₁₂, N_{CE} was found to be significantly higher compared with the halosulfuron-methyl treatment at site A. This treatment was the most effective in experiment 1.

The late application of bentazon tended to decrease N_{CE} independent of the control methods applied before: Treatment C₂₀₁₂ versus B (2012); 13₂₀₁₂ versus 11₂₀₁₂. In experiment 2 (2012), treatment efficacy was increased if S-metolachlor was incorporated in the soil before sowing and hoed twice thereafter compared with the mechanical treatment (A). If an additional application of bentazon was carried out late in the season N_{CE} was even lower. At site A the incorporation of S-metolachlor tended to be more effective than the PRE-emergence application, whereas at site B it was vice versa in 2011.

In experiment 3, the high efficacy of applying bentazon could be clearly observed in 2011. Several applications and the combination of different active ingredients resulted in low values of N_{CE} . In 2012, N_{CE} was significantly higher in treatment 12₂₀₁₂ compared with the other treatments of experiment 3. In treatment 12₂₀₁₂, the herbicides were applied in sequence and not in combination, and no bentazon was applied late in the season.

Tab. 1 Treatment levels and means of the number of *C. esculentus* germinated in the greenhouse, counted after 8 weeks, site A and B (2011).

Tab. 1 Versuchsvarianten und Mittelwerte der Anzahl gekeimter *C. esculentus* nach 8 Wochen im Gewächshaus 2011, Standort A und B.

treatment description					N _{CE} (N germinated per 10 l soil)	
mechanical herbicides	applied	active ingredient, g/ha	application time (BBCH)	site A	site B	
Trial 1						
1	untreated control	-		15.4 (4.8)	23.6 (5.4)	
2_2011	Dual Gold	S-metolachlor, 1920	PRE ²	3.1 (3.1)	4.0 (6.1)	
3a	Callisto	mesotrione, 150	13	18.0 (4.9)	4.4 (5.5)	
3b	Callisto	mesotrione, 2 x 75	13,16	7.2 (4.9)	5.4 (5.5)	
4a_2011	Dasul	nicosulfuron, 60	13	18.9 (4.8)	6.9 (5.2)	
4b_2011	Dasul	nicosulfuron, 2 x 30	13, 16	26.1 (4.8)	7.9 (5.2)	
5	Permit	halosulfuron-methyl ¹ , 2 x 15	13, 16	2.4 (4.7)	5.6 (5.3)	
p-value				0.03	0.18	
Trial 2						
A	Harrowing		13, 16	13.1 (0.5)	7.0 (13.5)	
B	Dual Gold, harrowing	S-metolachlor, 1920	IBS ³ 13, 16	0.0 (0.5)	20.0 (13.5)	
C_2011	Dual Gold, harrowing	S-metolachlor, 1920	PRE 13, 16	3.8 (0.4)	6.0 (16.5)	
p-value				0.06	0.76	
Trial 3						
10_2011	Permit	halosulfuron-methyl ¹ , 2 x 15	13, 16	6.3 (2.4)		
	Titus		13, 16			
	Basagran	rimsulfuron, 2 x 5	63			
	Callisto	bentazon, 960	63			
		mesotrione, 75				
11_2011	Basagran	bentazon, 2 x 960	16, 63	6.3 (2.4)		
	Callisto	mesotrione, 75	63			
12_2011	Basagran	bentazon, 2 x 960	16, 63	2.7 (2.4)		
	Callisto	mesotrione, 75	63			
13_2011	Titus	rimsulfuron, 2 x 5	13, 16	0.7 (2.4)		
	Callisto	mesotrione, 3 x 75	13, 16, 63			
	Basagran	bentazon, 960	63			
14_2011	Callisto	mesotrione, 150, 75	16, 63	3.7 (2.4)		
	Basagran	bentazon, 960	63			
p-value				0.46		

¹ not registered for use in Switzerland error

² PRE-emergence

³ incorporated before sowing

⁴ standard error

Tab. 2 Treatment levels and means of the number of *C. esculentus* germinated in the greenhouse, counted after 8 weeks, site A and B (2012).

Tab. 2 *Versuchsvarianten und Mittelwerte der Anzahl gekeimter C. esculentus nach 8 Wochen im Gewächshaus 2012, Standort A und B.*

	mechanical / applied herbicides	active ingredients, g/ha	application time (BBCH)	N _{CE} (N germinated per 10 l soil)	
				site A	site B
Trial 1					
1	untreated control	-		36.2 (10.2) ⁴	61.9 (11.8)
2 ₂₀₁₂	Adengo	isoxaflutole, 2 x 37.1; thiencazabone, 2 x 14.85; cyprosulfamide ¹ , 2 x 24.8	13, 16	30.4 (10.0)	1.6 (13.4)
	Callisto	mesotrione, 2 x 75	13, 16		
3a	Callisto	mesotrione, 150	13	29.8 (10.0)	24.7 (11.3)
3b	Callisto	mesotrione, 2 x 75	13, 16	20.0 (10.5)	10.0 (11.3)
4a ₂₀₁₂	Adengo	isoxaflutole, 74.2; thiencazabone, 29.7; cyprosulfamide ¹ , 49.6	13	60.9 (10.1)	25.5 (11.3)
4b ₂₀₁₂	Adengo	isoxaflutole, 2 x 37.1, thiencazabone, 2 x 14.85; cyprosulfamide ¹ , 2 x 24.8	13, 16	54.2 (11.4)	32.0 (11.3)
5	Permit	halosulfuron-methyl ² , 2 x 15	13, 16	4.7 (11.0)	1.5 (11.3)
p-value				0.05	0.03
Trial 2					
A	Harrowing		13, 16	23.0 (9.6)	15.1 (2.9)
B	Dual Gold, harrowing	S-metolachlor, 1920	IBS ³ , 13, 16	13.0 (9.6)	9.8 (3.6)
C ₂₀₁₂	Dual Gold, harrowing, Basagran SG	S-metolachlor, 1920 bentazon, 960	IBS, 13, 16 63	5.0 (9.6)	0.0 (2.3)
p-value				0.53	0.26
Trial 3					
10 ₂₀₁₂	Permit	halosulfuron-methyl, 2 x 15	13, 16	3.1 (3.1)	
	Titus	rimsulfuron, 2 x 5	13, 16		
11 ₂₀₁₂	Titus, Callisto	rimsulfuron, 2 x 5; mesotrione, 2 x 75	13, 16	10.6 (3.2)	
12 ₂₀₁₂	Titus	rimsulfuron, 10	13	21.5 (3.0)	
	Callisto	mesotrione, 150	16		
13 ₂₀₁₂	Titus, Callisto	rimsulfuron, 2 x 5; mesotrione, 2 x 75	13, 16 63	1.7 (3.1)	
	Basagran SG	bentazon, 960			
14 ₂₀₁₂	Titus	rimsulfuron, 10	13	1.8 (2.9)	
	Callisto	mesotrione, 150	16		
	Basagran SG	bentazon, 960	63		
p-value				0.01	

¹ safener ² not registered for use in Switzerland ³ incorporated before sowing ⁴ standard error

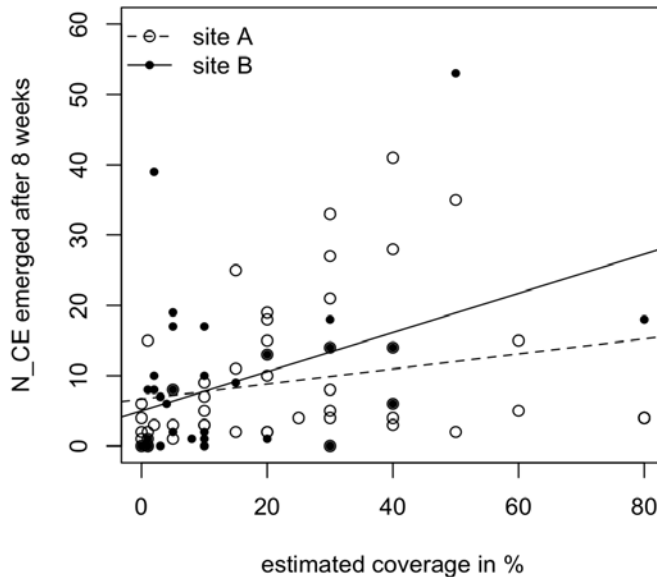


Fig. 1 Number of emerged *Cyperus esculentus* sprouts in 10 L soil after 8 weeks in the greenhouse versus *Cyperus esculentus* coverage 7-8 weeks after the second split application (2011). Lines indicate the modeled linear relationship between the two parameters. Adjusted R^2 in % was 3.5% at site A and 16% at site B.

Abb. 1 Anzahl gekeimter *Cyperus esculentus*-Keimlinge in 10 l Boden nach 8 Wochen im Gewächshaus gegen *Cyperus esculentus*-Bedeckung 7-8 Wochen nach der zweiten Splitapplikation (2011). Ein lineares Modell wurde verwendet, um den Zusammenhang zwischen den beiden Parametern zu zeigen. Adjustiertes R^2 in % betrug 3.5 % am Standort A und 16 % am Standort B.

Discussion

Weeds often occur in patches (NORDMEYER and ZUK, 2002; GERHARDS and OEBEL, 2006). Due to its means of dispersal and vegetative growth (ANONYMOUS), this is even more the case for *C. esculentus*. This patchiness resulted in high variability within the trials, thus merely trends can be stated in this study.

FELIX and NEWBERRY (2012) found a clear relationship between coverage and number of tubers in the soil, their analyses were based on aggregated data yet. In this study N_{CE} was used to compare efficacy of different treatments. However, no clear relationship between *C. esculentus* coverage and N_{CE} could be found. This implies that ratings of *C. esculentus* control based on estimated coverage should be interpreted with caution as they lack predictive power for the seasons to come. This confirms the statement of BOHREN and WIRTH (2013) who stated that there is no clear relationship between above ground biomass and the number of tubers formed. They favour the use of number of tubers to rank herbicide efficacy. Compared with rinsing, sieving soil samples and counting tubers directly, our approach requires less working hours. Generally, soil sampling may introduce more variation due to intraplot variability, whereas coverage estimates give a more general rating. With the soil samples technical difficulties were encountered in 2011, which were solved the next year. This may have contributed to the generally higher level of N_{CE} in samples taken 2012 which rendered comparison between years difficult.

For further experimentation apart from the untreated control, a treatment with a herbicide controlling present weeds in the field but with no or marginal effect on *C. esculentus* should be included. This is necessary, because in the untreated control emerging weeds strongly compete

with *C. esculentus* which is not the case neither in the herbicide treatments nor under normal field conditions.

Splitting improved *C. esculentus* control compared with a single herbicide application provided that the herbicide was at least partially effective in controlling *C. esculentus*. A further application of bentazon late in the season improved *C. esculentus* control. In contrast, applying a herbicide with no or marginal effect on *C. esculentus*, but with complete control of other weeds, resulted in high *C. esculentus* infestation levels. By applying herbicides and removing other weeds competing with *C. esculentus*, the proliferation of *C. esculentus* seems even to be promoted. This was also observed in the southeastern United States, where the broad use of herbicides controlling grasses and broadleaved weeds opened a niche which was readily filled by sedge weeds (BRYSON and CARTER, 2008).

The most effective treatments were the ones with halosulfuron-methyl showing consistent low infestation levels thereafter. Halosulfuron-methyl is not registered for use in Switzerland (compare official online database <http://www.blw.admin.ch/psm>). In Italy it is registered in rice (compare official online database <http://www.salute.gov.it>). Several products containing halosulfuron-methyl are registered in the US in turfs, other non-crop sites and many arable (corn, grain sorghum, rice, sugarcane etc.) and many vegetable crops (asparagus, dry beans, pumpkin etc.) (compare official online database <http://www.epa.gov/pesticides/>). FELIX and NEWBERRY (2012) found high *C. esculentus* control if S-metolachlor was incorporated into the soil before sowing and halosulfuron-methyl was applied after emergence with dicamba and at a later stage glyphosate was applied (glyphosate tolerant maize). This corresponds to a rather intensive control program comparable with the treatments in experiment 3 in our study.

S-metolachlor incorporated into soil before sowing, combined with mechanical weed control and application of bentazon at later growth stage was also a promising treatment. The high efficacy of S-metolachlor was also found in other studies, and the EPPD data sheets on quarantine pests suggests for *C. esculentus* a yearlong use of this active ingredient to reduce infestation levels in highly infested fields (ANONYMOUS, 2013).

Herbicide combinations, working with split application and late application or mechanical control combined with herbicides and late application of e.g. bentazon may suppress and control *C. esculentus* infestation to a similar extent as halosulfuron-methyl. However, this requires much more effort of the farmers and costs more. Halosulfuron-methyl did not control millet weeds, which strongly competed with emerging *C. esculentus* and the crop in 2012. The addition of a herbicide controlling these weeds would be mandatory for further experimentation.

In maize, the critical period for weed control cannot be applied to heavily infested *C. esculentus* fields, if the aim is to reduce *C. esculentus* infestation (BOHREN, 2012). Even late application (under leaf, patchwise) should be considered. Generally, the number of applications and amount of herbicides being applied and being released in the environment increases considerably in *C. esculentus* infested fields. This counteracts the general aim to reduce herbicide release in the environment (e.g. MOSER, 2012; ANONYMOUS 2013). However, the scattered pattern of emerging *C. esculentus* requires several herbicide applications. Therefore, the prevention of the further spread of this difficult to control weed is of high importance.

In Switzerland, the national subsidy systems require a minimal crop rotation. Farmers can choose between two protocols: in one protocol, the number of years until the same crop is allowed to be grown on the same field again are given by the regulation. In the other protocol the farmer has to grow at least four crops (to count as a crop, the crop must be grown on more than 10% of the cropped area of the farm), upper limits of the allowed share of the cropped area with distinct crops is also given. Yet, the single field can be cropped continuously with maize in this system (<http://www.agriculture.ch/de/pflanzenbau/943/944/950/>).

Thus, cropping maize for some years with intensive and continuous control measures is possible and farmers may achieve to decrease infestation levels in highly infested fields in Switzerland. The

effective treatments tested in these field trials provide a “small toolbox” for farmers trying to reduce infestation levels in their fields.

Acknowledgement

We thank the farmers providing the area for experimentation and the cantonal administration for the support.

References

- ANONYMOUS, 2013: *Cyperus esculentus* (European/non-european). 05-11809 Draft EPPO quarantine pest, Data Sheets on Quarantine Pests, <http://www.eppo.int> last retrieved 16.10.2013.
- ANONYMOUS, 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (National action plan for sustainable use of plant protection products). Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Pflanze/Pflanzenschutz/AktionsplanPflanzenschutzmittel.html> last retrieved 14.10.2013.
- BOHREN, C., 2012: *Cyperus esculentus*, une adventice particulièrement dangereuse (*Cyperus esculentus*, a particular dangerous weed). Présentation des projets (Project presentation).
- BOHREN, C. and J. WIRTH, 2013: Aktuelles zu Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.) (News about yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.)). AGRARFORSCHUNG SCHWEIZ **4**, 460-467.
- BRYSEN, C.T. and R. CARTER, 2008: The Significance of Cyperaceae as Weeds. In: Sedges: Uses, Diversity and Systematics of the Cyperaceae. Naczi, R.F.C. and B.A. Ford, B. A. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Garden **108**.
- FELIX, J. and G. NEWBERRY, 2012: Yellow Nutsedge Control and Reduced Tuber Production with S-metolachlor, Halosulfuron plus Dicamba, and Glyphosate in Furrow-Irrigated Corn. Weed Technol. **26**, 213-219.
- GERHARDS, R. and H. OEBEL, 2006: Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. Weed Research **46**, 185-193.
- KEELEY, P.E., 1987: Interference and Interaction of Purple and Yellow Nutsedges (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*) with crops. Weed Technol. **1**, 74-81.
- KELLER, M., R. TOTAL, C. BOHREN and B. BAUR, 2013: Problem Erdmandelgras: früh erkennen - nachhaltig bekämpfen (Problem yellow nutsedge: early detection - sustainable control). Leaflet, <http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?aid=32393&lang=de&pid=32365> last retrieved 16.10.2013.
- LENTH, R.V., 2013: Package 'Ismeans'.
- MOSER, T.A., 2012: Postulat Aktionsplan zur Risikominimierung und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (postulate for an action plan for the minimization of risks and sustainable use of plant protection products). http://www.parlament.ch/d/suche/seiten/geschaefte.aspx?gesch_id=20123299 last retrieved 14.10.2013.
- NORDMEYER, H. and A. ZUK, 2002: Teilflächenunkrautbekämpfung in Winterweizen (Site-specific weed control in winter wheat). J. Plant Dis. Protect. **XVIII**, 459-466.
- PIEPHO, H.P., A. BÜCHSE and C. RICHTER, 2004: A Mixed Modelling Approach for Randomized Experiments with Repeated Measures. J. Agron. Crop Sci. **190**, 230-247.
- R CORE TEAM, 2012: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, <http://www.R-project.org/>.
- RIEMENS, M.M., R.Y. VAN DER WEIDE and W.T. RUNIA, 2008: Nutsedge Biology and Control of *Cyperus rotundus* and *C. esculentus*, review of a literature survey. PPO Report, Plant Research International B.V.

Klimafolgenforschung zu Ackerunkräutern – Daten, Methoden und Anwendungen auf verschiedenen Skalen

Climate change impact research on arable weeds – data, methods and applications at various scale levels

Laura Breitsameter^{1*}, Jana Bürger², Barbara Edler¹, Kristian Peters², Bärbel Gerowitt² und Horst-Henning Steinmann¹

¹ Georg-August-Universität Göttingen, Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung, Sektion Landwirtschaft und Umwelt, Grisebachstr. 6, 37077 Göttingen, Deutschland

² Universität Rostock, Phytomedizin, Satower Str. 48, 18059 Rostock, Deutschland

*Korrespondierende Autorin, lbreits@agr.uni-goettingen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.014

Zusammenfassung

Eine große Anzahl an Einzeluntersuchungen hat sich in den vergangenen Jahren mit unterschiedlichen Aspekten der Folgen des Klimawandels für Biologie und Schadpotential von Ackerunkräutern befasst. Allerdings finden sich wenige Beispiele, die für einen definierten geographischen Raum und für einzelne Unkrautarten oder Anbausysteme ein umfassendes Bild liefern. Im Rahmen des Projektverbunds zur Klimafolgenforschung in Niedersachsen (KLIFF) wurde ein Forschungsansatz erprobt, der mehrere Skalenebenen übergreift und unterschiedliche Methoden verbindet. Dieser Ansatz sollte eine Möglichkeit liefern, die Folgen veränderter Klimabedingungen für Verbreitung und Leistungsfähigkeit einzelner Unkrautarten umfassend und mit möglichst hoher Vorhersagegenauigkeit abzuschätzen. Die Arten *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus*, *Echinochloa crus-galli*, *Datura stramonium*, *Iva xanthiifolia* und *Setaria viridis* wurden anhand eines solchen Vorgehens untersucht. Hierzu wurde eine korrelative Artverbreitungsmodellierung (regionale Skalenebene) mit kontrollierten Gefäßversuchen zu vegetativer und generativer Leistungsfähigkeit der Arten unter den für das Ende des Jahrhunderts für Niedersachsen erwarteten Klimabedingungen (lokale Skalenebene) verbunden. Bei der Zusammenführung der Daten zeigte sich, dass die Ergebnisse von der Modellierung und den empirischen Experimenten im Wesentlichen gut übereinstimmen. Für *A. retroflexus*, *D. stramonium*, *E. crus-galli* und *S. viridis* wiesen die Ergebnisse beider Untersuchungsmethoden auf eine neutrale bis positive Wirkung zukünftiger Klimabedingungen hin, für *I. xanthiifolia* hingegen auf eine negative Wirkung. Lediglich für *A. theophrasti* ließen sich die Ergebnisse von der Artverbreitungsmodellierung und den Gefäßversuchen nicht vollständig zur Deckung bringen. Insgesamt lassen unsere Ergebnisse die Einschätzung zu, dass der Ansatz, die Folgen von Klimawandel auf Ackerunkräuter mit einer mehrere Methoden und Skalenebenen verbindenden Herangehensweise zu untersuchen, zahlreiche Stärken aufweist. Diese Vorgehensweise erlaubt es, für eine definierte Untersuchungsregion unterschiedliche Datensätze zu einem detaillierten Gesamtergebnis aneinanderzupassen, und kann aus diesem Grunde, ggf. um weitere Aspekte erweitert, für die Untersuchung regionaler Klimawandelfolgen für Ackerunkräuter empfohlen werden.

Stichwörter: Bioklimatische Nische, Habitateignung, korrelative Artverbreitungsmodellierung, regionales Klimamodell, tatsächliche Verbreitung

Abstract

In the past years, a large number of studies have examined various aspects of possible consequences of climate change for the biology and damage potential of arable weeds. However, there are merely a few examples that have comprehensively investigated individual weed species or arable crop systems within a clearly delimited geographical area. In the frame of the research co-operation KLIFF (Climate change impact and adaptation research for Lower Saxony), we tested an approach that combines a number of methods to span several scale levels and types of environmental factors, which was intended to provide as accurate as possible an estimate of the potential distribution and performance of individual arable weed species under the predicted future climate conditions. This approach was put to practice for the species *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus*, *Echinochloa crus-galli*, *Datura stramonium*, *Iva xanthiifolia* and *Setaria viridis*. We combined projections of the potential future distribution of the individual weed species based on a correlative distribution modelling approach (regional scale level) with pot experiments (local scale level) on the vegetative and generative performance of these species under climatic conditions predicted for the end of the current century for Lower Saxony. A synopsis revealed that the results obtained from the different approaches

corresponded to a large extent. For *A. retroflexus*, *D. stramonium*, *E. crus-galli*, and *S. viridis*, both approaches indicated a neutral or positive effect of the predicted future climate on their potential distribution and performance, whereas the opposite was found for *I. xanthiifolia*. Merely for *A. theophrasti*, results of the two methods did not fully concur. Altogether, our results highlight that investigating climate change impact on weeds by combining several methods to span several scale levels allows fitting various data sets to a comprehensive picture for a delimited region. It has a number of strengths which may be augmented by the inclusion of further aspects. Therefore, this approach can be recommended for research of the regional impacts of climate change on arable weeds.

Keywords: Bioclimatic niche, correlative distribution modelling, habitat suitability, regional climate model, realized distribution

Einleitung

Zahlreiche Untersuchungen haben sich in den vergangenen Jahren mit den Folgen des Klimawandels für die Biologie und dem Schadpotential von Ackerunkräutern befasst. Das aus Einzelstudien und Übersichtsbeiträgen verfügbare Wissen ist mittlerweile immens.

Dennoch ist die Literaturabdeckung des Themenbereichs sehr heterogen. Eine Ursache dafür ist die Vielzahl von Modellarten, Methoden und Regionen, welche die Grundlage der Studien bilden. Aus den vorhandenen Studien lässt sich schwer ein Gesamtbild entwickeln, denn es finden sich wenige Beispiele, die für einen definierten geographischen Raum für einzelne Unkrautarten oder bestimmte Anbausysteme eine umfassende, auf mehrere Methoden gründende Zusammenstellung geben. Dadurch sind nach wie vor relevante Wissenslücken vorhanden, die es erschweren, plausible Prognosen für bestimmte Regionen, deren Landnutzungsformen und dort vorkommende Unkrautarten zu erstellen.

Im Rahmen des Projektverbunds zur Klimafolgenforschung in Niedersachsen (KLIFF) wurde der Ansatz verfolgt, eine herbologische Forschungsfrage durch eine mehrere Skalenebenen übergreifende und unterschiedliche Methoden verbindende Herangehensweise zu bearbeiten. Die Datengrundlage wurde dabei durch eine Kombination von Literaturstudien, empirischen Experimenten und Modellierung geliefert.

Die geographische Verbreitung und das Vorkommen von Ackerunkräutern wird durch eine Reihe von Faktoren bestimmt, welche auf unterschiedlichen Skalenebenen wirken (Abb. 1). Die weiträumig wirkenden Einflussfaktoren sind dabei das Klima (überregionale Ebene) und die Topographie. Regional und kleinräumig bis zur Ebene des lokalen Standorts wirken schließlich der Umweltfaktor Boden und die Landnutzung auf Pflanzenarten ein. Das Ensemble dieser Faktoren definiert die bioklimatische Nische einer Art. Diese wird weiter durch limitierende biotische Faktoren wie Verbreitungswege, Störung und Konkurrenz eingeschränkt, welche schließlich die tatsächliche Verbreitung der Art bestimmen.

Um die Verbreitung und das Schadpotential von Unkräutern unter zukünftigen klimatischen Bedingungen umfassend und mit möglichst hoher Vorhersagegenauigkeit abschätzen zu können, ist es notwendig, diese auf unterschiedlichen Skalenebenen wirkenden Faktoren zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck wurden in dem hier vorgestellten Ansatz eine Artverbreitungsmodellierung und die Gefäßversuche unter kontrollierten Bedingungen miteinander verbunden. Dieser umfangreiche Ansatz sollte genauere Informationen über die Breite der tatsächlichen Nische der untersuchten Unkräuter und über ihre vegetative und generative Leistungsfähigkeit unter den für das Ende des Jahrhunderts für Niedersachsen erwarteten Klimabedingungen liefern.

Hier zeigen wir die Ergebnisse eines derartigen methodischen Vorgehens. Der Fokus lag dabei auf sechs Unkrautarten, die in sommerannuellen Kulturen, insbesondere in Mais, vorkommen und in Europa bereits hohe Relevanz für die Unkrautbekämpfung haben (z. B. MEISSE *et al.*, 2010), beziehungsweise für die eine zunehmende Bedeutung erwartet wird (WEBER und GUT, 2005): *Abutilon theophrasti* Medik., *Amaranthus retroflexus* L., *Datura stramonium* L., *Echinochloa crus-galli* L., *Iva xanthiifolia* Nutt. und *Setaria viridis* L.

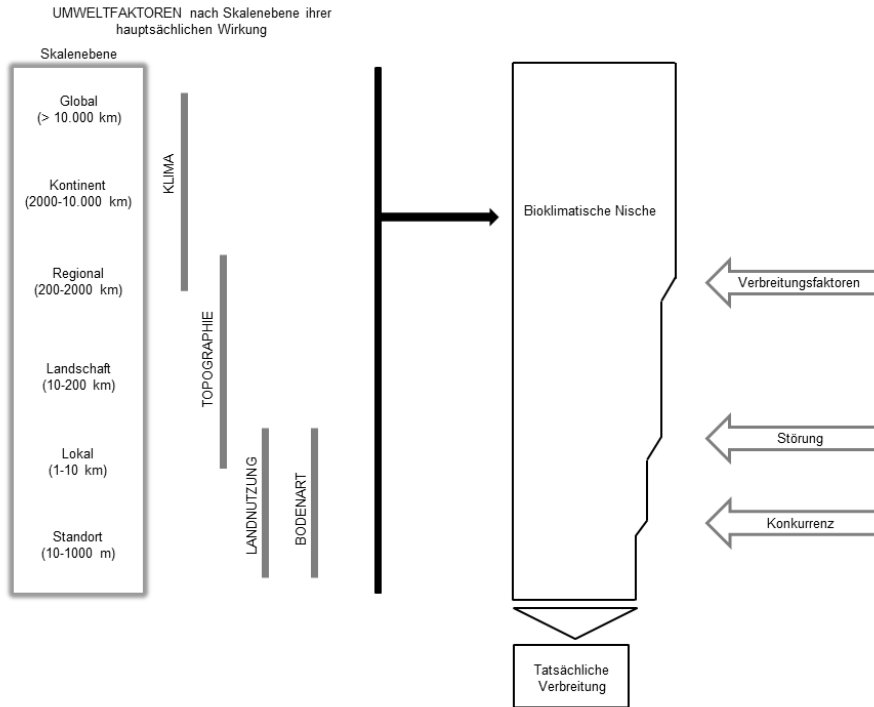


Abb. 1 Auf unterschiedlichen Skalenebenen wirkende Faktoren, welche das tatsächliche Verbreitungsgebiet von Pflanzenarten bestimmen. Eigene Darstellung, verändert nach PEARSON und DAWSON (2003) und McDONALD *et al.* (2009).

Fig. 1 Factors determining the realized distribution of plant species and primary scale levels of their action. Adapted from PEARSON and DAWSON (2003) and McDONALD *et al.* (2009).

Material und Methoden

Gesamtkonzept

Auf Basis einer umfangreichen Literaturstudie erfolgte zunächst die Auswahl von sechs Unkrautarten, die den Schwerpunkt dieser Studie bilden. Für diese Arten wurden die Folgen der für Niedersachsen prognostizierten Klimaveränderung auf mehreren Skalenebenen untersucht: Zur Abdeckung der regionalen Ebene wurde die derzeitige und die potentielle zukünftige Habitategnung für jede der Arten für Niedersachsen mittels korrelativer Verbreitungsmodellierung bestimmt und daraus ihre potentielle zukünftige Verbreitung in diesem Gebiet abgeleitet. Die lokale Wirkung prognostizierter zukünftiger Temperatur- und veränderter Bodenfeuchtebedingungen auf die vegetative und generative Leistungsfähigkeit der Unkräuter im Anbausystem wurde anhand von Gefäßversuchen unter Gewächshausbedingungen schließlich untersucht. Die für die einzelnen Skalenebenen erzielten Ergebnisse wurden in einer abschließenden Gesamtbetrachtung zusammengeführt.

Literaturstudie

Knapp 200 Literaturstellen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Unkräuter und Ungräser der sommerannuellen Anbausysteme Mais, Zuckerrübe und Kartoffel aus internationalen Fachjournalen, Tagungsbeiträgen, deutschsprachiger Fachliteratur und Monographien wurden gesichtet. Die Auswahl der für die Studie betrachteten Arten erfolgte aufgrund einer Reihe von Kriterien, u.a.:

- Thermophile Art, daher ein potentieller Profiteur einer Klimaerwärmung
- Potentiell invasiv oder mit einer Ausbreitungstendenz in Niedersachsen
- Hohe Relevanz durch hohes Schadpotenzial insbesondere in Sommerkulturen
- Gute Abdeckung in der vorhandenen Literatur

Anhand dieser Kriterien wurden *Abutilon theophrasti* Medik., *Amaranthus retroflexus* L., *Datura stramonium* L., *Echinochloa crus-galli* L., *Iva xanthifolia* Nutt. und *Setaria viridis* L. für die vorliegende Studie als Fokusarten ausgewählt.

Korrelative Artverbreitungsmodellierung

Die Grundannahme der korrelativen Verbreitungsmodellierung lautet, dass das Auftreten von Arten an einem Ort maßgeblich durch die vorherrschenden Umwelteigenschaften bestimmt wird. Die von einer Art eingenommene Nische wird durch ein mathematisch-statistisches Modell beschrieben, mit welchem die Verbreitung der Art unter den Umweltbedingungen eines anderen geographischen Raums oder in einer anderen Zeit abgeschätzt werden kann. Dabei basiert die Vorhersage auf einer Bewertung, wie gut die dort (oder dann) vorliegenden Umweltbedingungen für die untersuchte Art geeignet sind. Die Modellierung erfolgte mit MaxEnt (PHILLIPS *et al.*, 2006), einer etablierten Methode zur Verbreitungsmodellierung mit Vorkommensdaten (presence-only).

Die Grundlage der Modellierung bildeten die Koordinatenangaben zu Fundorten der Unkrautarten aus verschiedenen Vegetationserhebungen in Europa sowie hochaufgelöste Rasterdateien von verschiedenen Umweltparametern (Tab. 1). Die Klimadaten wurden durch Boden- und Landnutzungsdaten ergänzt, um diese wesentlichen lokalen Einflussfaktoren mit zu berücksichtigen (Abb. 1; HYVÖNEN *et al.*, 2012).

Tab. 1 Für Artverbreitungsmodellierung verwendete Daten und deren Quellen.

Tab. 1 *Data and sources used of correlative distribution modeling.*

Daten	Original-auflösung	Datenquelle
Vegetationsdaten	<10 km	GBIF und verschiedene nationale Datenbanken (www.gbif.org)
Historische Klimadaten in Europa, Set von 19 BIOCLIM-Variablen (inkl. Saisonalität)	10´	WORLDCLIM-Datenbank (HUMANS <i>et al.</i> , 2005)
Zukünftige Klimadaten in Niedersachsen 2070-2099 errechnet aus bias-korrigierten Monatswerten für Temperatur und Niederschlag	10 x 10 km	regionales Klimamodell REMO, Lauf UBA, IPCC-Szenario A1B (PANFEROV <i>et al.</i> , 2011)
Bodeneigenschaften	1 km	European Soil Data Base (http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/)
Landnutzung und Landbedeckung	je 1 km	Global Land Cover Facility (http://glcf.umd.edu/data/landcover/), ISCGM International Steering Committee for Global Mapping (http://www.iscgm.org/browse.html)

Die Modellgüte wird mit dem AUC (area under curve) angegeben, der zwischen 0,5 und 1,0 liegen kann (PETERSON *et al.*, 2011). Im Allgemeinen werden Werte ab 0,7 als akzeptabel und Werte über 0,9 als sehr gut eingestuft. Für alle sechs hier gezeigten Arten wurde eine hohe Modellgüte erreicht (AUC > 0,75). Anschließend wurde die zukünftige Habitateignung für das Gebiet Niedersachsens unter Verwendung der für das Ende des Jahrhunderts simulierten

Klimabedingungen projiziert. Weitere Details werden in BÜRGER *et al.* (2014), im gleichen Band beschrieben.

Gefäßversuche

Die Wirkung erhöhter Temperatur und reduzierter Wasserverfügbarkeit auf die sechs gewählten Arten wurde in zwei separaten Experimenten, die jeweils nur die drei C4- bzw. die drei C3-Pflanzenarten umfassten, untersucht.

Auflaufen und vegetatives Wachstum der Arten *A. theophrasti*, *D. stramonium* und *I. xanthiifolia* (C3-Pflanzen) wurden unter Bedingungen von reduzierter Wasserverfügbarkeit (pF 3 bis 4,2) und erhöhter Temperatur (durchschnittlich 25 °C) im Vergleich zu guter Wasserverfügbarkeit (pF 1,8) und Umgebungstemperatur (durchschnittlich 22 °C) in vier Böden (auf Lehm, Löss, Sand und Torf basiertes Gemisch) ermittelt. Das gesamte Experiment erfolgte als vierfach replizierter Gefäßversuch, der als Wiederholung in der Zeit in zwei aufeinander folgenden Jahren durchgeführt wurde. Die Auflaufrate (Anzahl der aufgelaufenen im Verhältnis zur Anzahl der gesäten Samen), sowie die Zeitdauer bis zur maximalen und zur halbmaximalen Auflaufrate wurden bestimmt. Aus diesen Größen wurden Rückschlüsse über die relative Eignung der einzelnen Kombinationen von Boden-, Feuchte- und Temperaturbedingungen für das Auflaufen der drei Unkrautarten gezogen.

Keimlinge aller drei Arten wurden anschließend in Mischkultur zusammen mit je zwei Maiskeimlingen in Pflanzgefäßen von 3 Liter Volumen unter den Bedingungen von reduzierter Wasserverfügbarkeit (pF 3 bis 4,2) und erhöhter Temperatur (durchschnittlich 25 °C) im Vergleich zu guter Wasserverfügbarkeit (pF 1,8) und Umgebungstemperatur (durchschnittlich 22 °C) in vier Böden (auf Lehm, Löss, Sand und Torf basiertes Gemisch) kultiviert. Alle Pflanzen wurden nach 45 Tagen destruktiv beerntet und die oberirdische Biomasse aller Pflanzen sowie die Wurzelbiomasse und -länge, das Spross-Wurzel-Verhältnis und die Blattfläche der Unkräuter bestimmt. Die Unkräuter befanden sich zum Zeitpunkt der Datenerhebung im BBCH-Stadium 50 bis 65 (letzteres in der erwärmten und trockenen Variante), Mais in BBCH 14 (bis 16 in der erwärmten Variante). Die Wirkung der einzelnen Kombinationen von Boden-, Feuchte- und Temperaturbedingungen auf die Morphologie der drei Arten wurde bestimmt und daraus Rückschlüsse auf die morphologische Plastizität und die Leistungsfähigkeit der Arten unter den jeweiligen Umweltbedingungen gezogen.

Im einem zweiten Experiment wurden vegetative und generative Parameter der Arten *A. retroflexus*, *E. crus-galli* und *S. viridis* (C4-Pflanzen) unter simulierten zukünftigen Klimabedingungen bestimmt (Temperaturerhöhung von 2 °C, reduzierte Luftfeuchtigkeit: 55 % „zukünftiges Klima“ vs. 68 % „heutiges Klima“). Die drei Unkrautarten wurden als Reinkultur und im Mischbestand mit Mais in Klimakammern gesät und kultiviert. Die Zeitdauer bis zur halbmaximalen und maximalen Auflaufrate, die Biomasse der Gesamtpflanzen und die Anzahl der Samen wurden bestimmt.

Ergebnisse

Korrelative Artverbreitungsmodellierung

In Tabelle 2 werden die relative Habitateignung unter derzeitigen Bedingungen, die prognostizierte relative Habitateignung und die potentielle zukünftige Verbreitung (Zeithorizont 2070 bis 2100) für das Gebiet Niedersachsen für die sechs betrachteten Unkräuter und Ungräser vergleichend dargestellt.

Tab. 2 Relative Habitategnung (derzeitiger Status und Projektion für den Zeithorizont 2070-2100) für sechs Arten von Ackerunkräutern und -ungräsern in Niedersachsen.

Tab. 2 *Relative habitat suitability (current status and projection for 2070-2100) for six species of arable weeds in Lower Saxony.*

Art	Relative Habitategnung in Niedersachsen		Veränderung heute vs. Zukunft
	heute	2070-2100	
<i>Abutilon theophrasti</i>	starker Gradient der Habitategnung von Osten (Nordniedersachsen und südöstl. Lüneburger Heide vergleichsweise sehr gut) nach Westen (vor allem Weser-Ems-Region und Küste vergleichsweise sehr geringe Habitategnung)	Für ein Vorkommen der Art geeignete Bedingungen in weiten Teilen Niedersachsens; vergleichsweise beste Habitategnung an der Küste und in den Börden; in großen Teilen der Region Weser-Ems, Zentralniedersachsens und der Lüneburger Heide dagegen zahlreiche Areale mit vergleichsweise geringerer Eignung	Deutliche Verringerung der Areale mit vergleichsweise sehr guter Habitategnung; gleichmäßigere Verteilung von Arealen mit moderater bis guter Habitategnung über ganz Niedersachsen
<i>Amaranthus retroflexus</i>	starker Gradient der Habitategnung von Osten (Nordniedersachsen und südöstl. Lüneburger Heide vergleichsweise sehr gut) nach Westen (vor allem Weser-Ems-Region vergleichsweise sehr geringe Habitategnung)	Für Vorkommen der Art gut geeignete Bedingungen in ganz Niedersachsen	Gleichmäßigere Verteilung von Arealen mit relativ guter Habitategnung über ganz Niedersachsen
<i>Datura stramonium</i>	starker Gradient der Habitategnung von Osten (Nordniedersachsen und südöstl. Lüneburger Heide vergleichsweise sehr gut) nach Westen (vor allem Weser-Ems-Region vergleichsweise sehr geringe)	Für Vorkommen der Art geeignete Bedingungen in ganz Niedersachsen; relativ geringere Habitategnung in der Stader und Oldenburger Geest; vergleichsweise beste Bedingungen in den Börden	Insgesamt gleichmäßigere Verteilung der für Artverbreitung geeigneten Gebiete über Niedersachsen.
<i>Echinochloa crus-galli</i>	starker Gradient der Habitategnung von Osten (Nordniedersachsen und östl. der Lüneburger Heide vergleichsweise sehr gut) nach Westen (vor allem Küstenregion vergleichsweise sehr geringe Habitategnung)	Für Vorkommen der Art geeignete Bedingungen in ganz Niedersachsen; relativ beste Bedingungen in der Region S-W-Weser-Ems	Vergrößerung des für die Artverbreitung gut geeigneten Gebiets auf ganz Niedersachsen und insgesamt eine Verbesserung der Habitategnung in ganz Niedersachsen
<i>Iva xanthiifolia</i>	starker Gradient der Habitategnung von Osten (Nordniedersachsen und südöstl. Lüneburger Heide vergleichsweise sehr gut) nach Westniedersachsen (vor allem Küstenregion vergleichsweise sehr geringe Habitategnung)	Für Vorkommen der Art geeignete Bedingungen lediglich in den Regionen Nordniedersachsen, der süd. Lüneburger Heide und Südhannover	Starke Verringerung des für die Artverbreitung geeigneten Gebiets

Art	Relative Habitategnung in Niedersachsen		Veränderung heute vs. Zukunft
	heute	2070-2100	
<i>Setaria viridis</i>	starker Gradient der Habitategnung von Osten (Nordniedersachsen und südöstl. Lüneburger Heide vergleichsweise sehr gut) nach Westen (vor allem Weser-Ems-Region und Küste vergleichsweise sehr geringe Habitategnung)	Für Vorkommen der Art gut geeignete Bedingungen in ganz Niedersachsen; vergleichsweise etwas geringere Habitategnung in der Küstenregion	Vergrößerung des für die Artverbreitung gut geeigneten Gebiets auf ganz Niedersachsen

Gefäßversuche

Die Gefäßversuche zeigten erstens, dass sowohl das Auflaufverhalten als auch das vegetative Wachstums der drei untersuchten Unkrautarten *A. theophrasti*, *D. stramonium* und *I. xanthiifolia* in unterschiedlichem Maße durch die angewandten Temperatur- und Feuchtestufen beeinflusst wurden. Zweitens verdeutlichten die Ergebnisse, dass die Bodenart unter den prognostizierten zukünftigen Bedingungen, und vor allem bei limitierter Wasserverfügbarkeit eine wichtige Einflussgröße für das Auflaufen und das Wachstums der untersuchten Arten ist.

Abutilon theophrasti wies bei höherer Temperatur eine erhöhte Auflaufrate und eine kürzere Zeitdauer bis zur maximalen und halbmaximalen Auflaufrate auf, was ein Hinweis darauf ist, dass das Temperaturoptimum dieser Art bei über 22 °C liegt (GUILLEMIN *et al.*, 2013). Im Gegensatz dazu war die Keimungsrate von *I. xanthiifolia* bei höherer Temperatur reduziert (vgl. EDLER und STEINMANN, 2012). Bei *D. stramonium* wurde kein Einfluss der Temperatur auf die Auflaufrate festgestellt. Die Reduktion der Bodenfeuchte bedingte prinzipiell bei den drei Unkräutern eine reduzierte Auflaufrate; bei *A. theophrasti* wurde bei erhöhter Temperatur allerdings unabhängig von der Bodenfeuchte eine relativ hohe Auflaufrate beobachtet, die durch Temperaturwerte nahe des Optimums erklärt werden könnte (KEBREAB und MURDOCH, 1999). Der Zeitverlauf des Auflaufens und die Auflaufrate wurden bei allen drei Unkrautarten durch die Bodenart beeinflusst. Unter Bedingungen der reduzierten Bodenfeuchte und der erhöhten Temperaturen waren die Auflaufraten im Torfboden vergleichsweise höher als in den anderen Bodenarten, insbesondere höher als im Sandboden.

Die Untersuchungen zeigten ferner, dass auch das vegetative Wachstum von *A. theophrasti*, *D. stramonium* und *I. xanthiifolia* artspezifisch in unterschiedlicher Weise durch veränderte Temperatur- und Feuchtebedingungen beeinflusst wurde. Im Mischbestand war die oberirdische Biomasse aller drei Unkräuter und vom Mais bei geringer Wasserverfügbarkeit, und insbesondere bei gleichzeitig erhöhter Temperatur, deutlich reduziert. Bei erhöhten Temperaturen war der Anteil vom Mais an der oberirdischen Biomasse des Gesamtbestands unabhängig von der Wasserverfügbarkeit erhöht. Die Unkrautarten zeigten je nach Bodenart unterschiedliche morphologische Veränderungen. *Abutilon theophrasti* war die einzige Unkrautart, deren Anteil an der oberirdischen Biomasse des Gesamtbestands unter Bedingungen reduzierter Wasserverfügbarkeit stieg und die keine Veränderung des Wurzel-Spross-Verhältnisses zeigte. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Trockenheit eine vergleichsweise geringe Auswirkung auf die Etablierung und das Wachstum dieser Art haben könnte, wohingegen für *I. xanthiifolia* eine vergleichsweise hohe Abhängigkeit von guter Wasserverfügbarkeit zu bestehen scheint.

Das Experiment 2 zeigte, dass sowohl das Auflaufverhalten als auch die Biomasse- und generative Entwicklung der drei untersuchten Unkrautarten *A. retroflexus*, *E. crus-galli* und *S. viridis* in unterschiedlichem Maße durch die angewandten Temperatur- und Luftfeuchtestufen beeinflusst wurden. *Amaranthus retroflexus* und *S. viridis* liefen unter den prognostizierten zukünftigen Bedingungen früher auf als unter derzeitigen Bedingungen; bei *E. crus-galli* wurde in Bezug auf diesen Parameter kein Unterschied festgestellt. Die vegetative Biomasse von *E. crus-galli* und *S.*

viridis war unter „zukünftigen“ Klimabedingungen signifikant erhöht. *Echinochloa crus-galli* bildete unter „zukünftigen“ Bedingungen zudem mehr Samen als unter „derzeitigen“ Klimabedingungen. Die Ergebnisse dieses Versuchs weisen darauf hin, dass sich eine erhöhte Temperatur und eine reduzierte Luftfeuchte positiv auf die Leistungsfähigkeit von *E. crus-galli* und in gewissem Ausmaß auf die von *S. viridis* auswirken können.

Zusammenführung der Skalenebenen

Bei der Zusammenführung der Modellierung und der empirischen Experimente zeigt sich, dass die Ergebnisse im Wesentlichen gut übereinstimmen. Für *A. retroflexus*, *D. stramonium*, *E. crus-galli* und *S. viridis* wurde in den Gefäßversuchen eine hohe Auflaufrate, für *E. crus-galli* auch ein hohes vegetatives Wachstum unter den zukünftigen Bedingungen gemessen; dies deckt sich mit der durch Modellierung prognostizierten sehr guten (*E. crus-galli*) bis guten relativen Habitategnung für diese vier Arten in ganz Niedersachsen. Für *I. xanthiifolia* wurde eine negative Wirkung der prognostizierten Klimabedingungen für das Auflaufen und Wachstum im Gefäßversuch festgestellt, welche mit der in der Artverbreitungsmodellierung prognostizierten geringen relativen Habitategnung der Art in ganz Niedersachsen gut übereinstimmt. Lediglich bei *A. theophrasti* lassen sich die Ergebnisse der beiden Ansätze stellenweise nicht ganz zur Deckung bringen: für diese Art hatten die Gefäßversuche eine positive Wirkung der zukünftigen Bedingungen auf das Auflaufen und Wachstum, auch auf unterschiedlichen Böden, hingewiesen. Die Artverbreitungsmodellierung prognostizierte hingegen starke regionale Differenzen bezüglich der relativen Habitategnung und insgesamt eine Verringerung des für ein Vorkommen dieser Art geeigneten Gebiets in Niedersachsen.

Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es auf Basis eines mehrere Skalenebenen übergreifenden Ansatzes die Auswirkungen der für das Ende des Jahrhunderts für Niedersachsen prognostizierten klimatischen Veränderungen auf die potentielle Verbreitung und die Leistungsfähigkeit einer Reihe von Ackerunkräutern zu untersuchen. Dieser Ansatz sollte der Tatsache gerecht werden, dass die tatsächliche Verbreitung von Pflanzenarten das Ergebnis des Einwirkens einer Reihe von Umweltfaktoren und biotischen Variablen ist, welche auf unterschiedlichen Skalenebenen wirken.

Die Ergebnisse der Artverbreitungsmodellierung stimmten für den Großteil der untersuchten Arten gut mit denen der Gefäßversuche überein. Dies unterstreicht die Komplementarität der unterschiedlichen hier verwendeten Methoden und die Leistungsfähigkeit der Artverbreitungsmodellierung.

In den Gefäßversuchen wurde auch die Wirkung der lokal am Standort vorherrschenden Bodenbedingungen auf die Pflanzen untersucht. Das Ergebnis, dass der Faktor Boden die Leistungsfähigkeit der untersuchten Arten unter veränderten Klimabedingungen in sehr unterschiedlicher Weise beeinflusst, kann die Interpretation der Ergebnisse der Artverbreitungsmodellierung (z.B. unterschiedliche Habitategnung von Standorten in unterschiedlichen bodenklimatischen Regionen) unterstützen.

Einige Aspekte der Wirkung von veränderten Klimabedingungen auf Ackerunkräuter konnten nicht von dem hier verwendeten Modellierungsansatz abgebildet werden. Insbesondere für folgende Daten haben sich die Gefäßversuche als notwendige Ergänzung zur Modellierung erwiesen:

- zur quantitativen Erfassung vegetativer (z. B. Biomasse, Wuchshöhe) und generativer (z. B. Anzahl gebildeter Samen) Parameter der Unkräuter
- zur Abbildung der Leistungsfähigkeit der betrachteten Art unter den Bedingungen der interspezifischen Konkurrenz durch andere Unkrautarten und/oder die Kulturpflanze (biologisch reduzierte Nische) und des Einflusses veränderter Klimabedingungen auf diese interspezifischen Wechselwirkungen

Für die untersuchten Arten konnte somit ein relativ umfassendes Bild der Wirkung veränderter Umweltbedingungen erstellt werden. Die gute Kongruenz der Ergebnisse deutet darauf hin, dass aus der Zusammenführung aller erzielten Ergebnisse eine haltbare Abschätzung der möglichen Folgen des Klimawandels für die betrachteten Arten von Ackerunkräutern für den Raum Niedersachsen erzielt wurde.

In einer Weiterentwicklung des hier vorgestellten Ansatzes sollten in ergänzenden Versuchen zusätzliche Aspekte Eingang finden, welche im Rahmen der vorliegenden Projektteile nicht bearbeitet werden konnten. Insbesondere ist hierbei die Berücksichtigung intraspezifischer genetischer Variation der betrachteten Arten von Bedeutung. Diese sollte sich einerseits auf die Unterschiede zwischen etablierten regionalen Populationen beziehen (WESTERMAN *et al.*, 2012). Andererseits sollten für Arten, die ihr Verbreitungsgebiet erweitern, mögliche evolutionäre Veränderungen des Genotyps und der tatsächlichen Nische abgebildet werden (BROENNIMANN *et al.*, 2007, CLEMENTS und DiTOMMASO, 2011).

Insgesamt lassen die hier gezeigten Ergebnisse die Einschätzung zu, dass der Ansatz, die Folgen des Klimawandels auf Ackerunkräuter mit einer mehrere Methoden und Skalenebenen verbindenden Herangehensweise zu untersuchen, zahlreiche Stärken aufweist. Die hier beschriebene Vorgehensweise erlaubt es für eine definierte Untersuchungsregion unterschiedliche Datensätze zu einem detaillierten Gesamtergebnis aneinanderzupassen. Aus diesem Grunde kann die hier vorgestellte Herangehensweise für die Untersuchung regionaler Klimawandelfolgen für Ackerunkräuter empfohlen werden.

Danksagung

Die vorliegende Studie wurde unterstützt durch das niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur innerhalb des KLIFF Forschungsverbunds (Klimafolgenforschung und Anpassung in Niedersachsen). Des Weiteren danken wir der Abteilung Pedologie des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften und der Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen des Büsgen-Institutes (beide Georg-August-Universität Göttingen) für die bodenphysikalischen und -bodenchemischen Analysen.

Literatur

- BROENNIMANN, O., U.A. TREIER, H. MÜLLER-SCHÄRER, W. THULLER, A. T. PETERSON und A. GUIBAN, 2007: Evidence of climatic niche shift during biological invasion. *Ecol. Letters* **10**, 701-709.
- BÜRGER, J., B. EDLER, B. GEROWITT und H.-H. STEINMANN, 2014: Prognose künftiger Problemunkräuter im Maisanbau durch Artverbreitungsmodellierung. In: Tagungsband **26**. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Julius-Kühn-Archiv, **443**.
- CLEMENTS, D. R. und A. DiTOMMASO, 2011: Climate change and weed adaptation: can evolution of invasive plants lead to greater range expansion than forecasted? *Weed Research* **51**, 227-240.
- EDLER, B. und H.-H. STEINMANN, 2012: Untersuchungen zu Auflauf und Etablierung von *Iva xanthiifolia* Nutt. unter veränderten Umweltbedingungen in Norddeutschland. In: Tagungsband **25**. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. In: NORDMEYER, H. und L. ULBER, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv **434**, 587-594.
- GUILLEMIN, J.-P., A. GARDARIN, S. GRANGER, C. REIBEL, N. MUNIER-JOLAIN und N. COLBACH, 2013: Assessing potential germination period of weeds with base temperatures and base water potentials. *Weed Research* **53**, 76-87.
- HIJMANS, R. J., S. E. CAMERON, J. L. PARRA, P. G. JONES und A. JARVIS, 2005: Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* **25**, 1965-1978.
- HYVÖNEN, T., M. LUOTO und P. UOTILA, 2012: Assessment of weed establishment risk in a changing European climate. *Agricult. Food Sci.* **21**, 348-360.
- MCDONALD, A., S. RIHA, A. DiTOMMASO und A. DEGAETANO, 2009: Climate change and the geography of weed damage: Analysis of U.S. maize systems suggests the potential for significant range transformations. *Agric. Ecosys. Env.* **130**, 131-140.
- MEISLE, M., P. MOURON, T. MUSA, F. BIGLER, X. PONS, V. VASILEIADIS, S. OTTO, D. ANTICHI, J. KISS, Z. PÁLINKÁS, Z. DORNER, R. VAN DER WEIDE, J. GROTEN, E. CZEMBOR, J. ADAMCZYK, J. B. THIBORD, B. MELANDER, G. CORDSEN NIELSEN, R. POULSEN, O. ZIMMERMANN, A. VERSCHWELE und E. OLDENBURG, 2010: Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *J. Appl. Entomol.* **134**, 357-375.
- MOSELEY, C., O. PANFEROV, C. DÖRING, J. DIETRICH, U. HABERLANDT, V. EBERMANN, D. RECHID, F. BEESE und D. JACOB, 2012: Klimaentwicklung und Klimaszenarien. In: Empfehlungen für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Regierungskommission Klimaschutz (Hrsg.), 18-41.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

- PANFEROV, O., M. MUDELSEE, C. DOERING, C. MOSELEY, D. JACOB und G. LOHMANN, 2011: Climate change projections for Lower Saxony, Germany, in the 21th century. European Geosciences Union, General Assembly 2011, Vienna, Austria, EGU2011-14020.
- PEARSON, R. G. und T. P. DAWSON, 2003: Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecol. Biogeogr.* **12**, 361-371.
- PETERSON, A. T., J. SOBERÓN, R. G. PEARSON, R. P. ANDERSON, E. MARTÍNEZ-MEYER, M. NAKAMURA und M. B. ARAÚJO, 2011: *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 314 Seiten.
- PHILLIPS, S., R. ANDERSON und R. SCHAPIRE, 2006: Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Mod.* **190**, 231-259.
- WEBER, E. und D. GUT, 2005: A survey of weeds that are increasingly spreading in Europe. *Agron. Sust. Devel.* **25**, 109-121.
- WESTERMAN, P. R., J. DIESTERHEFT und B. GEROWITT, 2012: Phenology of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) populations grown in northern Germany. In: Tagungsband 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. In: NORDMEYER, H. und L. ULBER, Braunschweig, *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 595-600.

Die biologische Wirksamkeit von Maleinsäurehydrazid auf Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.)

Biological effect of maleic acid hydrazide on Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus* L.)

Christian Bohren*, Roger Azevedo und Judith Wirth

Agroscope, Route de Duillier 50, Case Postale 1012, CH- 1260 Nyon, Suisse

*Korrespondierender Autor: christian.bohren@agroscope.admin.ch



DOI 10.5073/jka.2014.443.015

Zusammenfassung

Erdmandelgras (Knöllchenzyperrgras) *Cyperus esculentus* L. gehört zu den Sauergräsern (*Cyperaceae*) und zählt zu den invasiven Neophyten. Es vermehrt sich ausschließlich über Knöllchen im Boden. In den letzten zwei Jahrzehnten hat dessen Verbreitung in der Schweiz stark zugenommen. Gründe dafür sind veränderte Landnutzung und Bewirtschaftung der Felder, enorm schwierige Unkrautkontrolle und der geringe Bekanntheitsgrad dieses lästigen Unkrauts unter den Bewirtschaftern. Die Verschleppung von Knöllchen durch Arbeitsgeräte und Ernteprodukte (Wurzelfrüchte), der Mangel an parzellengenauen Daten des Vorkommens und fehlende flankierende Maßnahmen fördern zurzeit die Verbreitung von Erdmandelgras. Abhilfe würde eine Bekämpfungspflicht schaffen, die sich Bewirtschafter, Lohnunternehmer und Abnehmer von Ernteprodukten zu Nutzen machen könnten. Die Sanierung von stark verseuchten Parzellen ist aufwändig und für den Bewirtschafter kostspielig. Maleinsäurehydrazid wird aktuell unter anderem zur Keimhemmung bei Lagerkartoffeln eingesetzt. In einem Gewächshausversuch wurde die Wirkung von Fazor (Maleinsäurehydrazid) sowie der Mischung von Fazor und Asulox (Asulam) untersucht. Vorstellbar wäre eine Wirkung zur Reduktion der Keimfähigkeit der Knöllchen. Die Ergebnisse unseres Versuchs sind eindeutig. Die erwartete Wirkung wurde nicht festgestellt. Im Weiteren werden in diesem Artikel die Komplexität der Probleme mit Erdmandelgras in der Landwirtschaft angesprochen und einige Hinweise zur möglichen Bekämpfungsstrategie gegeben.

Stichwörter: Bekämpfung, *Cyperaceae*, Erdmandelgras, invasive Pflanze, Keimung, Landnutzung, Strategie

Abstract

Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) belongs to the family of *Cyperaceae*. It propagates exclusively with tubers in the ground. Its abundance has strongly increased in Switzerland in the last two decades. Main reasons for this increase are changing land use and production systems, a difficult herbicide control and a low awareness level among the farmers. The actual invasion is enhanced by unintended dislocation of tubers by machines or crops/crop waste, lack of knowledge of infested fields and missing supporting measures. An obligation to announce infested fields and to control Yellow Nutsedge is currently discussed in Switzerland. Such an obligation would help contractors and buyers of crops to reduce unintended dislocation of tubers. Cleaning up infested plots is quickly expensive and complex. Maleic acid hydrazide is actually used for preventing potato tubers to germinate in stock. We tested Fazor (maleic acid hydrazide) and Asulox (asulam) for its efficacy on preventing germination of Yellow Nutsedge tubers. The results of our pot trial in the greenhouse are clear. The expected efficiency was not observed. Furthermore the complexity of problems with this species in agriculture is discussed and some ideas for a control strategy are given in this paper.

Keywords: Changing land use, control, *Cyperaceae*, germination, invasive neophyte, strategy, Yellow Nutsedge

Einleitung

Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.) ist ein Sauergras aus der Familie *Cyperaceae*. Es ist ein invasiver Neophyt, der fast ausschließlich auf landwirtschaftlichen Nutzflächen Probleme bereitet. Bekannt sind zwei Unterarten (ZANGHERI, 1976): subspecies (ssp.) *sativus* Boeck. (wird vor allem in der Gegend von Valencia, Spanien, wegen der großen, süßen Knollen als „Chufa“ kultiviert) und subspecies *aurea* Ten. (blühendes Sauergras mit kleinen rundlichen Knöllchen). Die genaue Bezeichnung für unser Problemunkraut ist *Cyperus esculentus* ssp. *aurea* Ten. Im englischen Sprachraum wird die Bezeichnung „yellow nutsedge“ verwendet. Diese Art wurde bereits in den 1970er Jahren auf der Liste der weltweit gefährlichsten Unkräuter auf Platz 16 aufgeführt (HOLM *et al.*, 1977). In der Schweiz wurde dieses Problemunkraut schon vor einiger Zeit beschrieben

(SCHMIDT und SAHLI, 1992). In den letzten Jahren hat das Office Central Vaudois de la Culture Maraîchère (www.legumes.ch) in seinen Jahresberichten regelmäßig auf Erdmandelgras als sich rasch ausbreitendes Problemunkraut in einigen Regionen der Westschweiz hingewiesen. Die einkeimblättrige, ausdauernde Pflanze ähnelt im Aussehen einheimischen Seggen (*Carex*); Stängel und Blätter haben aber eine charakteristisch gelbgrüne Farbe. Erdmandelgras vermehrt sich ausschließlich über Wurzelknöllchen, die auf landwirtschaftlich genutzten Flächen mit Maschinen aller Art, Ernteprodukten (Wurzelfrüchte) und Ernteabfällen oder Schuhwerk verschleppt werden. Griffige Methoden zur langfristig wirkungsvollen Bekämpfung von Erdmandelgras in Acker- und Gemüsebaukulturen sind bisher nicht bekannt. Die Erfahrung zeigt, dass die bisher angewendeten Bekämpfungsmaßnahmen ein Fortschreiten der Invasion durch Erdmandelgras nicht aufzuhalten vermochten. Einzelmaßnahmen wie die „normale“ Unkrautbekämpfung mit Herbiziden oder ein zusätzlicher Hackdurchgang wirken zu wenig nachhaltig. Geschwächtes Erdmandelgras kann sich in der Kultur rasch regenerieren und genügend neue Knöllchen bilden, um im Folgejahr noch zahlreicher aufzutreten. Um das Problemunkraut in den Griff zu bekommen, braucht es eine Bekämpfungsstrategie, die über den Feldrand hinaus reicht (BOHREN und WIRTH, 2013). Es kann nur dann gelingen die Invasion zurück zu drängen, wenn verschiedene Elemente der Bekämpfung miteinander in Wechselwirkung gelangen. Gründe für das vermehrte Auftreten von Erdmandelgras in der Schweiz sind hauptsächlich in der modernen Landnutzung zu finden. Vermehrt werden Parzellen in einem größeren Umkreis als früher durch einen Bewirtschafter bebaut und vermehrt kommen Lohnarbeiten zum Zug. Hot spots des Vorkommens sind vor allem in Zonen wo sich Gemüse- und Ackerbau die Parzellen teilen zu finden. Agroscope führt Gewächshaus- und Feldversuche zur Erarbeitung einer nachhaltigen Bekämpfungsstrategie durch. Wir testeten chemische und mechanische Maßnahmen sowie allelopathische Wirkungen von Gründüngern. Als Ergänzung des Versuchsprogramms haben wir im Gewächshaus einen Test mit Maleinsäurehydrazid durchgeführt. Der Wirkstoff wird seit den 1950er Jahren im Pflanzenbau eingesetzt. Die Substanz wirkt systemisch und wird bis in die Wurzelvegetationspunkte transportiert. Dort unterbindet der Wirkstoff die Zellteilung in den Bildungsgeweben und verhindert so Austrieb und Wurzelwachstum. Die in der Schweiz aktuelle Bewilligung von Maleinsäurehydrazid erlaubt eine Vorernte-Behandlung von Kartoffeln zur Verhinderung des Austriebs der Knollen am Lager sowie von Zwiebeln, Knoblauch und Schalotten zur Festigung der Außenhaut sowie eine Anwendung in Tabak zur Hemmung der Bildung von Seitentrieben. Der hier beschriebene Gewächshausversuch sollte die Frage beantworten, ob Maleinsäurehydrazid das Keimverhalten der Erdmandelgras-Knöllchen beeinflussen kann.

Material und Methoden

Knöllchen wurden im Winter (Januar) auf einem Feld in einem verseuchten Gebiet von der Bodenoberfläche aufgesammelt und im Gewächshaus in Petrischalen auf feuchtem Löschpapier bei 20 °C und 12/12 h Licht vorgekeimt. Töpfe mit ca. 16 cm Durchmesser (ca. 1.5 Liter Volumen) wurden mit gesiebter Felderde gefüllt. In jeden Topf wurden 4 etwa gleich große, keimende Knöllchen gesteckt. Es gab 10 Wiederholungen pro Verfahren; insgesamt wurden 80 Töpfe vorbereitet. Es gab zwei Pflanzdaten mit vorgekeimten Knöllchen, sodass zur Zeit der Behandlung genügend Töpfe mit Erdmandelgras-Pflanzen im 2-4 Blatt-Stadium (BBCH 12 - 14) sowie im Stadium der beginnenden Blüte (BBCH 50 - 60) zur Behandlung zur Verfügung standen.

Zur Auswahl standen die Pflanzenschutzmittel Fazor (60 % Maleinsäurehydrazid) und Asulox (400 g/l Asulam). Die geprüften Verfahren lauteten Fazor Normaldosierung und Doppeldosierung sowie die Mischung Fazor (5 kg/ha) + Asulox (6 l/ha). Die Herbizide wurden in der Spritzkabine mit 2,8 bar Druck, 300 Liter Wasser / ha appliziert: Fazor (Maleinsäurehydrazid) 5 kg/ha; Fazor 10 kg/ha; Fazor + Asulox 5 kg/ha + 6 l/ha; reines Wasser (unbehandelt). Die Pflanzen wuchsen in ihren Töpfen im Gewächshaus bei ca. 20 °C und 12/12 h Licht weiter und wurden regelmäßig gewässert. 35 Tage nach der Applikation wurde der Versuch ausgewertet. Die grünen Pflanzenteile des Erdmandelgrases wurden entsorgt und die Erde ausgewaschen. Die aufgefundenen Knöllchen je Topf wurden gezählt und in Vorkeimschalen bei 20 °C und 12/12 h Licht im Gewächshaus unter

feuchten Bedingungen (kein stehendes Wasser) zur Keimung ausgelegt. Die Keimrate wurde nach 10 und 22 Tagen ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

In unserem Gewächshausversuch mit Maleinsäurehydrazid haben wir zwei Pflanzenstadien behandelt. Junge Pflanzen (BBCH 12 - 14) können innerhalb einer Kultur (z. B. Mais) im 2 - 4 Blatt-Stadium behandelt werden. Die Frage stellt sich, ob so junge Pflanzen genügend Wirkstoff aufnehmen können, der seinerseits solange wirksam bleibt, dass die nächste Generation von Knöllchen unfruchtbar wird. Ältere Pflanzen haben bereits Knöllchen gebildet, welche sie noch bis zur Vollreife mit Nährstoffen versorgen. Hier stellt sich die Frage, ob der Wirkstoff überhaupt bis zu den Wurzelknöllchen gelangt und dort seine Wirkung entfalten kann.

Der oberirdischen Pflanzenmasse wurde keine Beachtung geschenkt. Visuell waren keine Unterschiede in der Pflanzenentwicklung zu erkennen. Da wir die Wirkung der Behandlung über die Reduktion der Zahl der neu gebildeten Knöllchen und über deren Keimrate definieren, konzentrierten wir uns bei der Auswertung auf die Zahl der keimfähigen Knöllchen. Die Knöllchen entstehen aus Verdickungen der Rhizome. Sie sind im jungen Stadium weiss und weich und werden im Verlauf der Reife braun/schwarz und fest.

Die durchschnittliche Anzahl der gebildeten Knöllchen (Tab. 1) lag natürlicherweise bei den im älteren Stadium behandelten Pflanzen auf einem signifikant höheren Niveau als bei den im jungen Stadium Behandelten. Die Knöllchen der im älteren Stadium behandelten Pflanzen setzten ihre natürliche Reife fort und wechselten ihre Farbe nach Braun. Die Knöllchen der im jüngeren Stadium behandelten Pflanzen waren durchwegs weiss. In beiden Gruppen von behandelten Pflanzen wurden weisse Knöllchen beobachtet, die auskeimten.

Tab. 1 Durchschnittliche Anzahl Erdmandelgras-Knöllchen pro Topf (4 Pflanzen) 35 Tage nach der Behandlung sowie Anzahl und Prozente gekeimter Knöllchen nach 22 Tagen.

Tab. 1 Mean number of tubers / pot (4 plants) of yellow nutsedge 35 days after the treatment and number and percentage of germinated tubers after 22 days.

Versuchungsverfahren	Behandlung im Stadium:					
	BBCH 50-60			BBCH 12-14		
	Ø Anzahl Knöllchen	Ø Anzahl keimende	Keimung %	Ø Anzahl Knöllchen	Ø Anzahl keimende	Keimung %
Fazor+Asulox	105,8 a	23,5	23,6 a	16,6 a	1,5	9,1 a
Fazor 2n	99,1 a	24,1	12,9 a	20,5 ab	5,0	11,0 a
Fazor 1n	88,3 a	12,5	25,6 a	26,2 b	2,7	21,4 a
unbehandelt	94,2 a	25,1	26,8 a	17,0 ab	4,2	27,0 a
	p = 0,399		p = 0,33	p = 0,037		p = 0,404
	a = keine sign. Unterschiede					

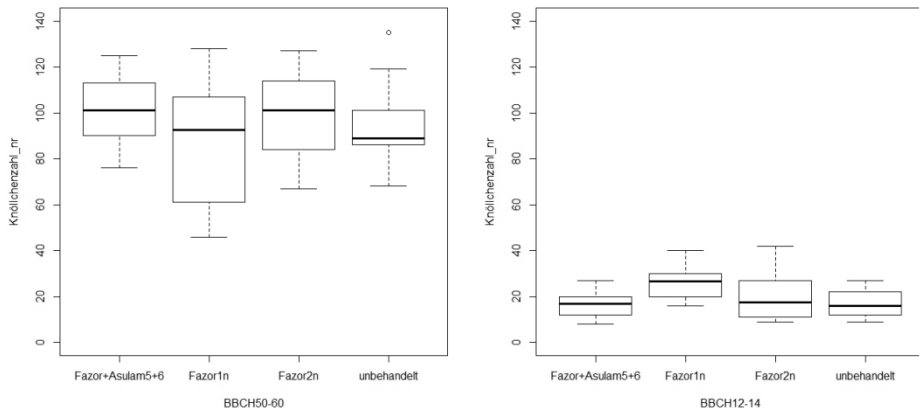


Abb. 1 Keine signifikanten Unterschiede in der Zahl (Median) der Erdmandelgras-Knöllchen zwischen den Behandlungen in beiden Behandlungsstadien.

Fig. 1 No significant difference in number (median) of yellow nutsedge tubers between the treatments.

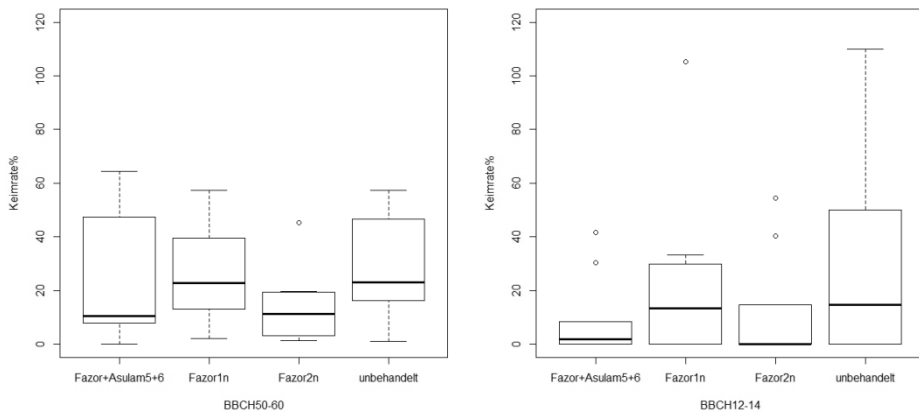


Abb. 2 Keine signifikanten Unterschiede der Keimrate (Median) von Erdmandelgras-Knöllchen zwischen den Behandlungen in beiden Behandlungsstadien.

Fig. 2 No significant difference in germination rate (median) of yellow nutsedge tubers between the treatments.

Die Behandlungen hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Zahl der gebildeten Knöllchen nach der Behandlung (Abb. 1). Die Homogenität der Einzelresultate erlaubte eine statistische Analyse ANOVA mit Tukey Test. Einzig unter den im jungen Stadium behandelten Pflanzen wurde eine Signifikanz zwischen den Verfahren Fazor 1n und Fazor+Asulox festgestellt. Die Keimraten der Knöllchen (Abb. 2) der im älteren Stadium behandelten Pflanzen schwankten weniger als die Keimraten der im jüngeren Stadium behandelten. Weder Normal- und Doppeldosierung von Fazor noch die Mischung mit Asulam – wie sie früher in den Vereinigten Staaten zur Kontrolle von mehrjährigen Gräsern an Wasserläufen (LEVI, 1954) eingesetzt wurde – hatten einen negativen Einfluss auf die Knöllchenzahl oder auf die Keimrate. In beiden Fällen kann der Wirkstoff Zahl und Qualität der neu gebildeten Knöllchen nicht beeinflussen. Aus diesen Resultaten kann der Schluss gezogen werden, dass Maleinsäurehydrazid nicht geeignet ist, die Keimrate der Knöllchen von Erdmandelgras auf ein nachhaltig dessen Vermehrung verhinderndes Niveau zu senken.

Angesichts der wachsenden Probleme mit diesem ausdauernden Unkraut muss nach anderen Lösungswegen gesucht werden (DODET *et al.*, 2008).

Erdmandelgras – ein außergewöhnliches Unkraut

Erdmandelgras überwintert und vermehrt sich ausschließlich mittels Wurzelknöllchen. In verschiedenen anderen Gewächshausversuchen haben wir in Töpfen (n = 450) mit einem Volumen von ca. 1.5 l nach 110 Tagen eine durchschnittliche Knöllchenbildungsrate von 1:35 ermittelt. Die Spanne gebildeter Knöllchen pro Mutterknöllchen reichte dabei von 10 bis 120. Die Keimrate dieser Knöllchen lag zwischen 85 und 90 %. Daraus lässt sich schließen, dass auch durch Herbizide geschädigte aber nicht abgetötete Pflanzen – welche nach einer 60 - 90 % Herbizid-Wirkung immer noch zahlreich vorhanden sein können – noch Knöllchen bilden, die eine hohe Keimrate aufweisen. Unter dem Strich steigt daher die gesamte Anzahl an Knöllchen stetig, ja mit zunehmender Erdmandelgras-Dichte exponentiell an. Daraus lässt sich folgern, dass eine Herbizid-Behandlung welche die oberirdischen Pflanzenteile in der Masse zerstört, damit die Kultur ungestört wachsen kann, die Zunahme der Vermehrung von Erdmandelgras keineswegs eindämmt. Die konventionelle Beurteilung der Wirkung reicht somit nicht aus; die Wirkung kann nur über die Reduktion der Knöllchenbildung definiert werden.

Je früher Bekämpfungsmaßnahmen im Sinne der Reduktion der Knöllchenbildung ergriffen werden können, desto weniger aufwändig gestaltet sich die Bekämpfung. Ein großes Hindernis für einen frühzeitigen Beginn der Bekämpfung ist der geringe Bekanntheitsgrad von Erdmandelgras bei den Bewirtschaftern. Das Gras wird oft mit Hirsen verwechselt, sodass Primärbefall meist unbemerkt und ungestört bleibt. Vermerkt der Bewirtschafter ein neues Problem, sind Bekämpfungsmaßnahmen bereits dringend notwendig. Sie können einschneidende Konsequenzen haben, denken wir an die Anpassung der Fruchtfolge oder den Verzicht von Erträgen auf den befallenen (Teil-)Parzellen zwecks Sanierung einer Fläche.

Warum ist es ein Problemunkraut?

Man erkennt es nicht früh genug: Im Jugendstadium ähnelt Erdmandelgras von Weitem sehr stark den Hirsen. Dies erschwert die Früherkennung. Allerdings erweisen sich die gelblich-grüne Blattfarbe sowie die hart sich anführenden Blätter sowie die typisch V-förmige Blattspreite mit deutlich sichtbarer Rille als zuverlässige Erkennungszeichen. Die Erkennung von einzelnen Pflanzen in neu verseuchten Feldern erfordert genaues Hinsehen. Je mehr Pflanzen vorhanden sind und je grösser diese werden, desto auffälliger macht sich die typische gelbgrüne Färbung bemerkbar. Gründe für die gegenwärtig feststellbare starke Verbreitung von Erdmandelgras in der Schweiz sind bei der vermehrten überbetrieblichen Zusammenarbeit zu suchen und liegen in der Tatsache, dass das Unkraut noch zu wenig bekannt ist.

Verschleppung der Knöllchen: Auf dem Acker ist die Mehrzahl der Knöllchen, die als einziger Pflanzenteil den Winter überdauern, vor allem in der obersten Bodenschicht bis 20 cm zu finden; vereinzelt werden sie auch in tieferen Schichten (bis 50 cm) aufgefunden. Die Knöllchen haften an Wurzelfrüchten wie Kartoffeln, Zuckerrüben, Randen, Karotten und vielen anderen Erntegütern, sowie an Maschinenteilen und Rädern von Fahrzeugen und Schuhwerk. Dadurch werden sie auf Äckern und Gemüsefeldern mittels Maschinen und Fahrzeugen direkt oder über Ernteaabfälle und Erdverschiebungen (Erdtransporte?) indirekt verteilt.

Schlechte Herbizidwirkung auf Knöllchenbildung: Die nach oben strebende Stellung der Blätter sowie die Beschaffenheit der Blattoberfläche macht es Herbiziden nicht einfach, an den Blättern haften zu bleiben. Dennoch gibt es einige Herbizide, mit deren Hilfe auch bei starker Verseuchung des Feldes Erfolge erzielt werden können (z. B. Dual Gold in Mais). Allerdings findet Erdmandelgras trotz guter Herbizidwirkung auf die oberflächlich sichtbaren Blätter und Stängel (von beispielsweise 60 - 95 %, was zum Schutz der Kultur vor Unkrautkonkurrenz ausreichend sein kann), immer wieder Nischen zur Bildung von Knöllchen. Unter dem Strich steigt daher die gesamte Anzahl an Knöllchen stetig, ja mit zunehmender Cyperusdichte exponentiell an. Resistenzfälle von *C. esculentus* L. var. *aurea* gegen Herbizide sind nicht dokumentiert.

Invasiver Neophyt: Erdmandelgras wird auf der Watch-Liste (Beobachtungsliste) von info flora (früher SKEW-CPS), dem nationalen Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flora, geführt (www.infoflora.ch). Auf dieser Liste stehen invasive Neophyten, die das Potenzial haben, große Schäden zu verursachen; deren Ausbreitung muss daher überwacht und wenn nötig eingedämmt werden. Das invasive Potenzial des Erdmandelgrases belastet landwirtschaftliche Kulturen – in anderen Umgebungen kommt es kaum vor – durch seine spezielle Fortpflanzungsform mittels Knöllchen (Erdmandeln). Die Lebensdauer der Knöllchen im Boden wird in der Literatur mit ca. 5 Jahren angegeben, wobei die Keimfähigkeit mit den Jahren abzunehmen scheint (KASSL, 1992).

Bekämpfung von Erdmandelgras

Früherkennung: Die Früherkennung von neuen Befallsherden ist für die Wirksamkeit der Bekämpfungsmaßnahmen von großer Bedeutung (NEUWEILER, 2011). Kleine Vorkommen mit wenigen Pflanzen können ausgegraben und entsorgt (nicht im Kompost und nicht auf dem Mist) oder durch Bodensterilisation abgetötet werden. Je weiter die Invasion fortgeschritten ist, desto intensiver und teurer wird die Bekämpfung.

Erste Maßnahmen: Umfassende Aufklärung und Beratung der Landwirte und Lohnunternehmer sind der erste Schritt zur erfolgreichen Bekämpfung von Erdmandelgras. Dabei muss jeder Bewirtschafter die Verantwortung für seine Felder übernehmen. Vor allem in betroffenen Regionen, aber auch in allen anderen Gebieten, sollen die Bewirtschafter Gelegenheit bekommen, diese Pflanze in Natura (Töpfen) zu sehen und anzufassen. Informationen sollen mündlich und schriftlich weitergegeben werden. Abnehmer von Wurzelfrüchten sollen Produkte aus verseuchten Feldern kennzeichnen und gesondert behandeln.

Herbizide: Die chemische Bekämpfung ist nur bedingt erfolgversprechend. Innerhalb der Kulturpflanzenbestände können nur wenige Herbizide angewendet werden, die einen guten Wirkungsgrad besitzen. Die spezifischen Gräserherbizide wirken auf Erdmandelgras nicht.

Bodenbearbeitung: Erste Erfahrungen aus unseren Versuchen zeigen, dass eine Bodenbearbeitung im frühen Wachstumsstadium des Erdmandelgrases die Knöllchenbildung erheblich reduziert. Eine Wiederholung dieser Maßnahme verbunden mit sofortiger Einarbeitung von Herbiziden erhöht den Effekt. Hacken oder Striegeln in Hackkulturen sind für die Cyperusbekämpfung nicht ausreichend, da nur etwa 2/3 der Fläche bearbeitet werden können.

Gründünger: Der Anbau von konkurrenzstarken Gründüngern wie Grünroggen, Buchweizen, Sorghum oder Hafer nach einer späten Bodenbearbeitung kann die Vermehrung von Erdmandelgras erheblich bremsen. Erste Ergebnisse aus Gewächshausversuchen sind vielversprechend; Feldversuche dazu sind in Planung.

Bodensterilisation: Kleine verseuchte Flächen, die der Produktion von Spezialkulturen dienen, können sterilisiert werden. Es gibt Apparate zur Dampfbehandlung, die den Boden bis zu einer Tiefe von 30 cm auf 80 - 90 °C erhitzen (KELLER, 2013). Das Verfahren ist jedoch teuer; zudem werden durch die Hitze nahezu alle Bodenlebewesen vernichtet.

Kombination der Maßnahmen: Alle beschriebenen Einzelmaßnahmen alleine sind nicht ausreichend, da sie hinsichtlich des Zurückdrängens der Art ungenügend sind. Um eine erfolgreiche und nachhaltige Bekämpfungsstrategie zu entwickeln, müssen die Maßnahmen kombiniert getestet werden. Dazu sind bei Agroscope entsprechende Versuche in Planung. Außerdem müssten Hygienemaßnahmen zur Verhinderung der weiteren Ausbreitung – wie Reinigung von Schuhwerk, Geräten und Fahrzeugen – durchgesetzt werden können. Durch eine gründliche Kontrolle von verseuchtem Substrat, Ernteprodukten und Ernteabfällen sowie Pflanzgut wie Kartoffeln, Gemüsepflanzen, Blumenzwiebeln (-knollen), Baumschulerzeugnisse und Zierpflanzenstauden würde eine weitere Ausbreitung verhindert. Letztendlich müssen alle Bekämpfungsmaßnahmen auf eine deutliche Reduktion der Knöllchenzahl im Boden abzielen.

Fruchtfolge: Der Anbau von Hackfrüchten auf verseuchten Parzellen ist problematisch. In Kartoffeln, Zuckerrüben und Wurzelgemüse ist die Verschleppungsgefahr durch Erntegüter und Erntemaschinen sehr hoch. Das gleiche gilt für die Stoppelbearbeitung, sofern die Geräte nach der

Arbeit nicht sorgfältig gereinigt werden. In konkurrenzstarkem Getreide verhindern auch dichte Bestände nicht, dass sich Erdmandelgras vor allem in Bestandeslücken und Fahrgassen entwickeln und eine genügende Anzahl Knöllchen bilden kann, die das Problem im Folgejahr verstärken. In Kunstwiesen kann sich Erdmandelgras vor allem im ersten Jahr noch stark vermehren, wenn deren Bestand noch nicht die volle Dichte erreicht hat. Die Zerstörung eines dichten Kunstwiesen-Bestandes durch Weide kann die Knöllchenbildung fördern. Es wird angenommen, dass eine 3jährige, dichte Kunstwiese den Besatz an Erdmandelgras stark vermindert, sodass das Problem in den Folgejahren überschaubar bleibt. Diese Vermutung ist bisher noch nicht durch Versuche belegt.

Sanierung von verseuchten Feldern: Stark verseuchte Felder müssen aus der Fruchtfolge genommen und saniert werden. Gemäß ersten Versuchsergebnissen von Agroscope führt eine Herbizidbehandlung im späten Frühjahr auf die jungen Triebe mit anschließender Bodenbearbeitung zu einer sehr hohen Bekämpfungswirkung. Der Erfolg ist noch besser, wenn das Verfahren 6 - 8 Wochen später wiederholt wird. Das ist zeitraubend und eine Kultur könnte erst im Frühsommer angebaut werden, wobei diese mit dem eingesetzten Herbizid verträglich sein muss. Diese Maßnahme müsste über mehrere Jahre wiederholt werden, bis die Verseuchung ein erträgliches Maß erreicht hat. Die Planung der Maßnahmen zur Sanierung eines Feldes muss in der Fruchtfolgeplanung berücksichtigt werden.

Die Verschleppung der Knöllchen direkt von Feld zu Feld oder indirekt durch Abfälle von Feldprodukten oder durch Ernterückstände ist der Hauptfaktor der fortschreitenden Invasion. Eine Kartierung von befallenen Parzellen wäre hilfreich. Verseuchte Felder dürften nur am Ende der Ernteperiode abgeerntet und Produkte von verseuchten Feldern erst am Schluss einer Kampagne verarbeitet werden. Ernterückstände von verseuchten Feldern müssten wieder auf diese zurückgebracht werden.

Flankierende Maßnahmen sind nötig

Die Produzenten allein können die Invasion und Verschleppung von Erdmandelgras nicht aufhalten. Eine wichtige Voraussetzung für eine effiziente Bekämpfung wäre eine Deklaration als „besonders gefährliches Unkraut“ sowie eine Melde- und Bekämpfungspflicht. Die Meldepflicht darf nicht als Instrument zur Bestrafung betroffener Bewirtschafter dienen. Die Meldepflicht würde es erleichtern, befallene Parzellen zu kartieren. Diese Kartierung könnte einerseits dazu dienen, den Maschinen- und Fahrzeugverkehr von verseuchten zu sauberen Feldern zu unterbinden. Den Bewirtschaftern und vor allem den Lohnunternehmern würde so die bedeutsame Rolle zufallen, die weitere Verschleppung von Knöllchen zu unterbinden. Andererseits würde die Bekämpfungspflicht die Abnehmer von Erntegütern wie Zuckerrüben, Kartoffeln und Wurzelgemüse verpflichten, die Reihenfolge der Abnahme so zu steuern, dass Produkte von verseuchten Feldern gesondert angenommen werden können. Eine Bekämpfungspflicht, welche nie eine Ausrottungspflicht sein kann, würde das Durchsetzen koordinierter Hygienemaßnahmen erleichtern.

Es sollte keinen Bewirtschafter mehr geben, der auf dem Feld bemerken muss, dass „das neue Gras“ nicht auf die Gräserbekämpfung reagiert und sich bereits stark ausgebreitet hat. Die Beratung ist gefordert, alle Landwirte – nicht nur diejenigen in betroffenen Gebieten – rechtzeitig zu informieren. Alle Beteiligten müssen am gleichen Strick ziehen. Nur so kann eine Verseuchung des Agrarlandes im ganzen Land verhindert werden.

Literatur

- BOHREN, C. und J. WIRTH, 2013: Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.): die aktuelle Situation in der Schweiz". Agrarforschung Schweiz **4** (11), 469-475.
- DODET, M., R. PETIT und D.J. GASQUEZ, 2008: Local spread of the invasive *Cyperus esculentus* (Cyperaceae) inferred using molecular genetic markers. Weed Research **48**, 19-27.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

- HOLM, L.G., D.L. PLUCKNETT, J.V. PANCHO, und J.P. HERBERGER, 1977: World's worst weeds. Distribution and biology. Honolulu, University of Hawaii, 609 Seiten.
- KASSL, A., 1992: Erdmandelgras – *Cyperus esculentus* L. Auftreten, Verbreitung und Bekämpfung in Kärnten. Dissertation, Universität für Bodenkunde Wien, 221 Seiten.
- KELLER, M., R. TOTAL, C. BOHREN und B. BAUR, 2013: Problem Erdmandelgras: früh erkennen – nachhaltig bekämpfen. Merkblatt Agroscope, August 2013. www.agroscope.ch.
- LEVI, R., 1954: Inhibition of growth of perennial grasses. Crop and Pasture Science CSIRO.
- NEUWEILER, R., C. BOHREN und R. TOTAL, 2011: Erdmandelgras – Handeln bevor es zu spät ist. Gemüsebau-Info Nr. 15/2011 vom 21.06.2011. Agroscope Changins Wädenswil ACW; www.agroscope.ch.
- SCHMITT, R. und A. SAHLI, 1992: Eine in der Schweiz als Unkraut neu auftretende Unterart des *Cyperus esculentus* L. Landwirtschaft Schweiz 5 (6), 273-278.
- ZANGHERI, P., 1976: Flora Italica I. Cedra Casa Editrice, Padova.

Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Entwicklung der Verunkrautung in einem Dauerfeldversuch

Influence of tillage system on the weed infestation in a long-term field trial

Jürgen Schwarz* und Bernhard Pallutt

Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, Deutschland

*Korrespondierender Autor, juergen.schwarz@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.016

Zusammenfassung

Die pfluglose Bodenbearbeitung nahm in den letzten Jahren in Deutschland auf fast 40 % der Anbaufläche stark zu. Durch den Verzicht des Pflügens wird im Allgemeinen eine Zunahme der Verunkrautung beobachtet. Gleichzeitig nimmt der Einsatz von Herbiziden bei pflugloser Bewirtschaftung zu. Die langfristigen Auswirkungen der pfluglosen Bodenbearbeitung hinsichtlich Unkrautauflauf und Herbizidanwendung werden in einem Dauerversuch in Dahnsdorf (Bundesland Brandenburg) untersucht. Die Anwendung von Glyphosat zur Saatbettbereitung muss dabei nicht zwangsläufig erfolgen, sondern in Abhängigkeit von den Auflaufbedingungen der Unkräuter und der Vorkultur; so war zum Beispiel im Erntejahr 2010 gar kein Einsatz nötig. Die Bekämpfung des Getreidedurchwuchses im Winterraps in den pfluglosen Varianten erforderte in 6 von 7 Jahren den Einsatz von Graminiziden. Der Unkrautauflauf wird primär durch die vorhergehende Fruchtfolge (Marktfrucht mit 67 % Getreide oder Futterbau mit 50 % Getreide) und die Intensität der Herbizidanwendung bestimmt. Erst nach vier Jahren zeigt sich der Einfluss der pfluglosen Bodenbearbeitung auf das Auflaufverhalten der dikotylen Unkräuter. Der Auflauf wird durch die nicht-wendende Bodenbearbeitung gefördert, insbesondere in Kombination mit leicht reduzierten Herbizidaufwandmengen (Strategie IPS). Die dikotylen Unkräuter bestehen zu ca. 70 % aus den fünf Arten *Viola arvensis*, *Veronica spp.*, *Stellaria media*, *Matricaria spp.* und *Centaurea cyanus*. Bei den monokotylen Arten ist Windhalm die dominierende Art. Der Auflauf ist hier stärker von der aktuellen Jahreswitterung und insbesondere den Keimbedingungen im Herbst abhängig.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, Durchwuchs, Fruchtfolge, Glyphosat, Pflug

Abstract

In Germany reduced tillage (without ploughing) increased to nearly 40% of arable land. Without using a plough weed infestation generally rises. Simultaneously the use of herbicides increases. In a long-term field trial in Dahnsdorf (federal state of Brandenburg, Germany) the impact of reduced tillage on weed occurrence and herbicide use is investigated. The use of glyphosate for seedbed preparation is not always necessary, e.g. in the crop year 2010 glyphosate was not used. The use depends on the rate of weed emergence and the precedent crop. For canola the situation is different, volunteer cereal plants had to be controlled by a graminicide in 6 out of 7 years. In the first years weed emergence is determined by the former crop rotation (cash cropping with 67% cereals vs. forage cropping with 50% cereals) and the herbicide strategy. Round about after four years the influence of the reduced tillage appears in case of the dicotyledonous weeds. Emergence of these weeds is promoted by the reduced tillage especially in combination with slightly reduced herbicide amounts (strategy IPS). The species of the dicotyledonous weeds are mainly (about 70%) *Viola arvensis*, *Veronica spp.*, *Stellaria media*, *Matricaria spp.* and *Centaurea cyanus*. For *Apera spica-venti* the emergence is mainly based on the weather conditions and the germinative terms in autumn.

Keywords: *Apera spica-venti*, crop rotation, glyphosate, plough, volunteer crop

Einleitung

In Deutschland hat die pfluglose Bodenbearbeitung in den letzten Jahren stark zugenommen. Im Anbaujahr 2003/2004 wurde rund 23 % der Ackerfläche pfluglos bearbeitet, im Anbaujahr 2009/2010 rund 39 % (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011). Die Art der Bodenbearbeitung hat einen wesentlichen Einfluss auf die nachfolgende Verunkrautung, bedingt durch die Schaffung unterschiedlicher Keimbedingungen (PALLUTT und BENNEWITZ, 1996; SPRENGER *et al.*, 2002; ROLLER und ALBRECHT, 2006). In einigen Studien wird die Zunahme von Gräsern durch die nicht-wendende Bodenbearbeitung hervorgehoben (AMMAN, 1991; DITTMANN, 2012). Andererseits finden sich

Untersuchungen, welche die Zunahme monokotyle Arten nicht pauschal bestätigen können (ALBRECHT, 2004). Den Einfluss der Fruchtfolge in Verbindung mit pflugloser Bodenbearbeitung am Standort Glaubitz beschreibt PALLUTT (2010). Bei getreidebetonten Fruchtfolgen und Verzicht auf Hackfrüchte nehmen monokotyle Arten stark zu.

Aus dem Netz der Vergleichsbetriebe ist bekannt, dass die pfluglose Bodenbearbeitung mit höherem Aufwand an Herbiziden einhergeht: in Getreide ist der Behandlungsindex (BI) um rund 0,3 und in Raps um 0,6 erhöht (FREIER *et al.*, 2012).

Mittels eigener langfristiger Untersuchungen soll geprüft werden, inwieweit die pfluglose Bodenbearbeitung sich auf den Unkrautauflauf, besonders auch der Gräser und den Auflauf von Ausfallkulturen auswirkt und welche Konsequenzen sich daraus für die Intensität des Einsatzes von Herbiziden ergeben.

Material und Methoden

Die Untersuchungen zum Einfluss der pfluglosen Bodenbearbeitung werden auf der Versuchsfläche Dahnsdorf des Julius Kühn-Institutes durchgeführt. Dahnsdorf liegt im südlichen Brandenburg (52.108494 N, 12.636338 E) nahe der Stadt Bad Belzig im Naturraum Hoher Fläming. Der Boden des Versuchsfeldes ist ein lehmiger Sandboden mit 57,9 % Sand, 37,5 % Schluff und 4,6 % Ton. Die Bodenwertzahl beträgt im Mittel 48 Punkte, der pH-Wert liegt bei 5,8. Die durch eine eigene Wetterstation auf dem Versuchsfeld gemessenen Werte der mittleren Jahrestemperatur (1997 – 2012) und des mittleren Jahresniederschlages betragen 9,4 °C und 599 mm. Die Region ist durch eine häufige Vorsommertrockenheit gekennzeichnet. Der Standort dürfte für rund 1/3 der Ackerflächen der Neuen Bundesländer typisch sein.

Der Dauerversuch wurde im Jahr 1995 angelegt und 12 Jahre (2 Rotationen) mit zwei unterschiedlichen Fruchtfolgen – Marktfrucht (67 % Getreide) und Futterbau (50 % Getreide) – zwei Intensitäten der Pflanzenschutzmittelanwendung – situationsbezogen und 50 % von situationsbezogen – und in jeder Intensitätsstufe vier Pflanzenschutzmittelstufen – unbehandelte Kontrolle (UK), Fungizid (F), Herbizid (H) und Herbizid und Fungizid (HF) – durchgeführt. Zu weiteren Versuchsdetails siehe PALLUTT *et al.* (2010).

Seit dem Herbst 2007 wurden beide Fruchtfolgen im Rahmen einer Neuausrichtung zu Winterraps – Winterweizen – Winterroggen – Grünschnittroggen/Sorghum-Hirse – Erbsen – Triticale vereinheitlicht.

Der Faktor Grundbodenbearbeitung wurde in den Stufen „gepflügt (wendend)“ und „pfluglos (nicht-wendend)“ mit jeweils 5 Wiederholungen durchgeführt.

Die Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung erfolgt nun in den Varianten „Gute fachliche Praxis (GFP)“ und „Integrierter Pflanzenschutz (IPS)“, wobei die Variante „GFP“ auf die ehemalige situationsbezogene und die Variante „IPS“ auf die ehemalige 50 % von situationsbezogen gelegt wurde. Im Rahmen der „Guten fachlichen Praxis (GFP)“ werden die Pflanzenschutzmittel praxisüblich unter Einbeziehung der Hinweise des amtlichen Pflanzenschutzdienstes angewandt. Bei „IPS“ erfolgt eine stärkere Berücksichtigung von Schwellenwerten, eine situationsbezogene Dosierung und eine ein- bzw. mehrfache Anwendung reduzierter Aufwandmengen (Splitting).

Innerhalb der beiden Strategien „GFP“ und „IPS“ werden die Nachwirkungen aus den vorgehenden 12 Jahren der vier Pflanzenschutzmittelstufen (H1, H, HF1 und HF) ermittelt. Dabei bedeutet „H1“ (ehemalige UK), dass hier bis Herbst 2007 kein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln erfolgte. Seit Herbst 2007 werden Herbizide eingesetzt, jedoch erfolgt weiterhin kein Einsatz von Fungiziden im Getreide bzw. Insektiziden in Raps/Erbsen. Ähnlich ist die Stufe „HF1“ (ehemalige F); hier erfolgte bis Herbst 2007 ebenfalls kein Einsatz von Herbiziden, jedoch wurden Fungizide in Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt.

In der Stufe „H“ wurden seit Versuchsbeginn immer Herbizide eingesetzt, jedoch erfolgt (seit 1996) kein Einsatz von Fungiziden im Getreide bzw. Insektiziden in Raps/Erbsen. Die Stufe HF bedeutet,

dass seit 1996 Herbizide und auch Fungizide im Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt werden.

Ausgedrückt als Behandlungsindex (BI) der Herbizide ergeben sich für die Strategien in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung folgende Werte: „GFP“ wendend ein BI von 1,0; „GFP“ nicht-wendend ein BI von 1,6; „IPS“ wendend ein BI von 0,8 und „IPS“ nicht-wendend ein BI von 1,3.

Nach der Ernte und der Stoppelbearbeitung wird für jede Kulturart und jedes Jahr entschieden, ob eine Behandlung der fünf pfluglosen Wiederholungen mittels Glyphosat erfolgt.

Vor der Durchführung einer Herbizidbehandlung wird in jeder einzelnen der Versuchspartellen der Unkrautauflauf nach Art und Anzahl an vier Zählstellen mit 0,25 m² Größe erfasst. Dies erfolgt meist im Herbst, teilweise bei Weizen auch im Frühjahr. Ebenfalls wird an vier Zählstellen der Getreidedurchwuchs (Triticale) im Winterraps gezählt. Anhand der Auflaufzahlen wird über die Notwendigkeit einer Graminizidbehandlung entschieden.

Im Folgenden werden nur die immer mit Herbiziden behandelten Varianten „H“ und „HF“ betrachtet, die ehemals nicht mit Herbiziden behandelten Varianten (H1 und HF1) werden hier nicht betrachtet. Die Varianten „H“ und „HF“ werden, getrennt nach den Strategien „GFP“ und „IPS“ zusammengefasst (SCHWARZ und MOLL, 2010).

Für die weitere Betrachtung des Unkrautauflaufs wird ein Mittelwert über die Kulturarten Triticale, Winterweizen und Winterroggen berechnet. Durch diese Mittelwertbildung wird die Anzahl der Versuchspartellen vergrößert und die Aussagesicherheit, besonders vor dem Hintergrund der heterogenen Unkrautverteilung auf Ackerflächen (z. B. MORTENSEN *et al.*, 1993; NORDBO und CHRISTENSEN, 1995), erhöht.

Ergebnisse

Glyphosat

Die Anwendung von Glyphosat und die erforderliche Aufwandmenge in den pfluglosen Varianten hängen stark von der Anzahl und der Größe der Durchwuchspflanzen der Vorkultur und den vorhandenen Unkräutern ab. Im Erntejahr 2008 wurde in allen Kulturen auf den pfluglosen Flächen Glyphosat vor der Saatbettbereitung angewandt, da witterungsbedingt eine wenig intensive Bodenbearbeitung durchgeführt werden konnte und somit die Ausfallpflanzen und die Unkräuter in einem fortgeschrittenen Stadium waren. Über die anderen Jahre gibt Tabelle 1 Auskunft und zeigt in welchen Kulturen Glyphosat mit entsprechender Aufwandmenge, angegeben in aktiver Wirksubstanz (active ingredient) in Gramm je ha, angewandt wurde. Bei der Dosierung wurde berücksichtigt in welcher Dichte und welchem Entwicklungsstadium der Durchwuchs war bzw. welche Unkräuter in welchen Stadien vorhanden waren.

Durchwuchsbekämpfung Raps

Im Winterraps erfolgte, außer im Erntejahr 2011 (also Herbst 2010), immer eine Durchwuchsbekämpfung in den pfluglosen Varianten mittels eines Graminizids. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Zählungen der Durchwuchspflanzen im Winterraps je m² als Mittelwert aller Strategien und Varianten für die wendende und nichtwendende Bodenbearbeitung angegeben. Bei der Behandlungsentscheidung flossen auch die teilweise schlechteren Auflaufzahlen vom Winterraps der pfluglosen Varianten mit ein.

Hervorzuheben sind die Erntejahre 2010 und 2013 mit 82 und 103 Durchwuchspflanzen je m². Durch eine trockene Witterung im August (unzureichende Bodenfeuchte) erfolgte der Ausfallgetreideaufbau erst nach der Rapssaat und konnte im Vorfeld nicht mechanisch bekämpft werden.

Tab. 1 Anwendung von Glyphosat vor Saatbettbereitung in den pfluglosen Varianten mit Angabe der aktiven Wirksubstanz (active ingredient) in Gramm je ha in Klammern.

Tab. 1 Use of glyphosate before seedbed preparation in non-ploughed treatments with information on active ingredient in gram per hectare in brackets.

Erntejahr	Kulturen in denen Glyphosat eingesetzt wurde und angewandte aktive Wirksubstanz
2009	Winterroggen, Grünschnittroggen, Triticale, Wintererbsen (alle 675 g/ha)
2010	keine Anwendung
2011	Winterweizen, Triticale (beide 900 g/ha)
2012	Winterweizen, Winterroggen, Triticale (alle 900 g/ha)
2013	Winterweizen (1.360 g/ha), Winterroggen (1.800 g/ha), Triticale (1.800 g/ha)
2014	Winterweizen (1.125 g/ha), Winterroggen (720 g/ha)

Tab. 2 Anzahl der Durchwuchspflanzen in Wintererbsen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung (Mittelwert über beide Stufen (GFP, IPS) der Herbizidintensität).

Tab. 2 Number of volunteer plants in winter oilseed rape, differentiated by tillage system (mean of both herbicide intensities, GFP and IPS).

Erntejahr	Anzahl Durchwuchspflanzen pro m ²	
	wendend	nichtwendend
2008	1,1	20,8
2009	0,1	6,6
2010	1,4	82,2
2011	0,1	0,1
2012	0,2	15,8
2013	0,3	103,2
2014	0,5	7,6

Entwicklung der Verunkrautung

Betrachtet man den Auflauf der dikotylen Unkräuter, so sind verschiedene Zusammenstellungen möglich. Aufgrund der Nachwirkungen der unterschiedlichen Fruchtfolgen in Verbindung mit den Pflanzenschutzmittelintensitäten (SCHWARZ *et al.*, 2012), werden die beiden Strategien „GFP“ und „IPS“ in zwei verschiedenen Abbildungen dargestellt. Innerhalb jeder Abbildung werden die beiden ehemaligen Fruchtfolgen (Marktfrucht und Futterbau) und der Effekt der Bodenbearbeitung vergleichend dargestellt.

In der Strategie „GFP“ (Abb. 1) ist bei der wendenden Bodenbearbeitung der Auflauf dikotyler Unkräuter in der Marktfruchtfolge und der Futterbaufruchtfolge vergleichbar. Ab dem fünften Jahr (2012) ist eine Zunahme der dikotylen Verunkrautung bei Pflugverzicht in beiden ehemaligen Fruchtfolgen zu beobachten.

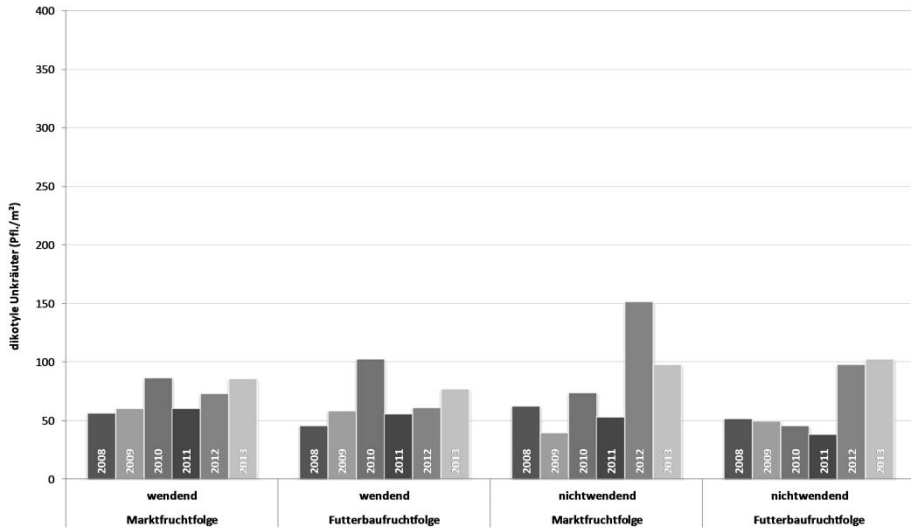


Abb. 1 Auflauf von dikotylen Unkräutern in der Strategie „GFP“ in Abhängigkeit von ehemaliger Fruchtfolge und Bodenbearbeitung.

Fig. 1 Weed emergence of dicotyledonous weeds in the strategy “GFP” in dependency of former crop rotation and soil cultivation.

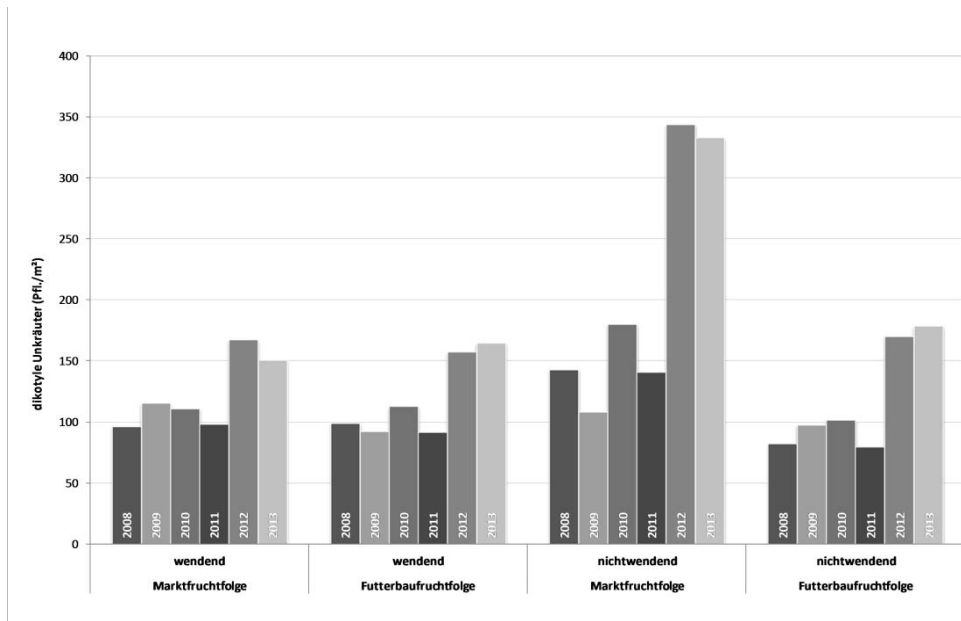


Abb. 2 Auflauf von dikotylen Unkräutern in der Strategie „IPS“ in Abhängigkeit von ehemaliger Fruchtfolge und Bodenbearbeitung.

Fig. 2 Emergence of dicotyledonous weeds in the strategy “IPS” in dependency of former crop rotation and soil cultivation.

In der Strategie „IPS“ (Abb. 2) sind die Auflaufzahlen dikotyler Unkräuter generell höher als in der Strategie „GFP“. Auch hier sind seit dem Erntejahr 2012, in den jeweiligen ehemaligen Fruchtfolgen, die Auflaufzahlen bei der nicht-wendenden Bodenbearbeitung höher. Besonders augenscheinlich sind die sehr hohen Auflaufzahlen von 344 und 333 dikotylen Unkräutern je m² in den Jahren 2012 und 2013 in der ehemaligen Marktfruchtfolge. Bei der wendenden Bodenbearbeitung ist in dieser Strategie seit dem fünften Jahr (2012) ein Anstieg der Auflaufzahlen erkennbar, jedoch trifft dies nicht auf die Strategie „GFP“ zu. Bei dikotylen Unkräutern war eine geringe Nachwirkung der Fruchtfolge erkennbar.

Tab. 3 Auflauf von Windhalm (*Apera spica-venti*) in der Strategie „GFP“ und „IPS“ in Abhängigkeit von ehemaliger Fruchtfolge und Bodenbearbeitung.

Tab. 3 Weed emergence of *Apera spica-venti* in the strategies „GFP“ and „IPS“ in dependency of former crop rotation and soil cultivation.

Erntejahr	Anzahl Windhalmpflanzen pro m ²			
	GFP		IPS	
	Marktfrucht		Futterbau	
	wendend	nicht-wendend	wendend	nicht-wendend
2008	57,7	34,1	28,6	22,8
2009	59,2	36,9	29,8	14,7
2010	49,9	60,6	36,0	33,3
2011	35,6	52,4	23,5	18,3
2012	31,9	70,4	27,5	27,8
2013	23,8	65,9	18,3	38,7
	Marktfrucht		Futterbau	
	wendend	nicht-wendend	wendend	nicht-wendend
2008	47,3	54,9	27,0	25,5
2009	55,7	62,9	38,1	27,6
2010	47,7	107,5	61,3	109,3
2011	33,3	79,4	22,6	28,9
2012	36,2	68,4	34,7	40,0
2013	31,8	119,0	29,0	82,2

Die Zusammensetzung der dikotylen Unkräuter nach Arten ergibt, dass im Mittel fünf Arten ca. 70 % der dikotylen Unkrautarten ausmachen: *Viola arvensis*, *Veronica* spp., *Stellaria media*, *Matricaria* spp. und *Centaurea cyanus*. In der ehemaligen Marktfruchtfolge tritt *C. cyanus* verstärkt auf, allerdings sind in den letzten Jahren auch in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge in der nichtwendenden Bodenbearbeitungsvariante mehr Kornblumen aufgelaufen. In der ehemaligen Futterbaufruchtfolge tritt hingegen *V. arvensis* im stärkeren Umfang auf.

Die Tabelle 3 zeigt die Entwicklung der Verunkrautung mit *Apera spica-venti*, ebenfalls zusammengefasst nach den Pflanzenschutzstrategien.

In der Strategie „GFP“ sind in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge die Auflaufzahlen des Windhalms geringer als in der ehemaligen Marktfruchtfolge. Der anfänglich höhere Windhalmbesatz in der wendenden, ehemaligen Marktfruchtfolge ging im Laufe der Jahre zurück, während in der nicht-wendenden, ehemaligen Marktfruchtfolge ab dem dritten Jahr ein stärkerer Auflauf zu beobachten ist. Bei der ehemaligen Futterbaufruchtfolge tritt dieser Effekt in der nicht-wendenden Bodenbearbeitung, auf geringerem Niveau, erst ab dem sechsten Jahr auf.

In der Strategie „IPS“ ist eine vergleichbare Entwicklung zu beobachten. Beim Verzicht auf den Pflug in Verbindung mit der verminderten Herbizidintensität nehmen die Auflaufzahlen des Windhalms stärker zu.

Trotz der gemeinsamen Auswertung von mehreren Getreidearten zeigt sich ein starker Jahreseinfluss, z. B. im Erntejahr 2010 und 2013, auf das Auflaufverhalten des Windhalms.

Diskussion

Durch die Zunahme der pfluglosen Bodenbearbeitung in Deutschland ergeben sich Fragestellungen hinsichtlich der langfristigen Auswirkungen, z.B. die Entwicklung der Verunkrautung, und bezüglich des Einsatzes von Herbiziden. Neben den positiven Wirkungen der pfluglosen Bewirtschaftung, z. B. eine Energieeinsparung (z. B. SCHWARZ, 2013), wird der damit verbundene Einsatz von Glyphosat kritisch gesehen (z. B. STEINMANN, 2013).

Die Höhe des Unkrautauflaufs, insbesondere des Windhalms und des Durchwuchses hängt sehr stark von der Jahreswitterung und der damit verbundenen Bodenfeuchte ab.

In unseren Versuchen war der Einsatz von Glyphosat nicht immer nötig, sodass im Erntejahr 2010 konnte generell darauf verzichtet werden konnte. Durch die Verteilung des Niederschlages der Monate August und September 2009 (61,6 mm) mehrheitlich auf die letzte August- und erste Septemberdekade (in Summe 40,6 mm) konnten die Ausfallkulturen keimen und so vor der Aussaat mechanisch bekämpft werden. Die Niederschlagssumme der beiden Monate liegt unter dem langjährigen Mittel von 95,6 mm. Im Jahr 2012 fielen im August und September ebenfalls weniger Niederschläge als im langjährigen Mittel. Die Summe der beiden Monate beläuft sich auf nur 50,1 mm, wobei sich die Hauptniederschläge hier auf die erste August- und letzte Septemberdekade verteilen (in Summe 34,3 mm). Somit waren die Keimbedingungen gänzlich andere als im Jahr 2009 und die Beseitigung der Durchwuchskulturen konnte nicht mechanisch erfolgen. Die Verteilung des Niederschlages hat somit einen starken Einfluss auf den Besatz mit Ausfallkulturen.

Die Getreidedurchwuchsbekämpfung im pfluglosen Winterraps war in 6 von 7 Jahren nötig, lediglich im Erntejahr 2011 konnte darauf verzichtet werden. Dies war durch den sehr nassen Herbst 2010 (275 mm Regen im August und September) begründet, in welchem in den ersten beiden Augustdekaden 89,2 mm Niederschlag fiel. Der Getreidedurchwuchs lief nahezu vollständig vor der Rapsaussaat auf und konnte mechanisch bekämpft werden.

Die pfluglose Bodenbearbeitung bedingt einen höheren Aufwand an Herbiziden. Im Mittel unserer Versuche stieg der Behandlungsindex (BI) um ca. 0,5 an. Ebenfalls einen erhöhten Behandlungsindex der Herbizide bei pflugloser Bodenbearbeitung um rund 0,3 und bei Raps um 0,6 ermittelt FREIER *et al.* (2012) im „Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“. Die etwas geringere

Zunahme des BI in den Vergleichsbetrieben bei pflugloser Bodenbearbeitung ist vermutlich auf die dort höhere Herbizidintensität (BI Herbizid bei rund 1,7) zurückzuführen.

Die Bodenbearbeitung, die Intensität der Herbizidanwendung und die Fruchtfolge beeinflussen die Entwicklung der Verunkrautung. Die Auswirkungen der Bodenbearbeitung und der Intensität der Herbizidanwendung sind fünf bis sechs Jahre lang erkennbar. Fruchtfolgebedingte Nachwirkungen bleiben insbesondere bei pflugloser Bodenbearbeitung lange erhalten. Der Effekt der Fruchtfolge ist bei Herbizidverzicht deutlich stärker ausgeprägt und resultiert aus dem höheren Getreideanteil in der Fruchtfolge (SCHWARZ *et al.*, 2012).

Beim Windhalm hat die Jahreswitterung einen starken Einfluss auf das Keimverhalten, da Windhalm aus einer geringen Tiefe aufläuft. Aus diesem Grund schlagen sich die witterungsbedingten Unterschiede in den einzelnen Jahren wesentlich stärker nieder als bei der Summe der dikotylen Arten.

Nach Anwendung von um ca. 20 % reduzierten Herbizidaufwandmengen (Strategie „IPS“) in Verbindung mit der pfluglosen Bodenbearbeitung, steigt die Verunkrautung stetig an. Eine reduzierte Bodenbearbeitung ist mit einer verstärkten Herbizidanwendung verbunden. Bei erfolgreicher Nutzung reduzierter Herbizidaufwandmengen kann auf eine Pflugfurche grundsätzlich nicht verzichtet werden.

Dies bestätigen auch Untersuchungen am Standort Glaubitz (PALLUTT, 2010). Dort führten verringerte Herbizidaufwandmengen in Verbindung mit getreidebetonter Fruchtfolge und pflugloser Bodenbearbeitung zu einer stärkeren Verunkrautung mit dikotylen Arten und Windhalm. Ähnliche Effekte bei Pflugverzicht sind auch im ökologischen Landbau zu beobachten (DITTMANN, 2012).

Literatur

- ALBRECHT, H., 2004: Langfristige Veränderung des Bodensamenvorrates bei pflugloser Bodenbearbeitung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft **XIX**, 97-104.
- AMANN, A., 1991: Einfluss von Saattermin und Grundbodenbearbeitung auf die Verunkrautung in verschiedenen Kulturen, Dissertation Universität Hohenheim, 148 Seiten.
- DITTMANN, B., 2012: Abschließende Ergebnisse zur Wirkung von langjährig pflugloser Bodenbearbeitung auf die Verunkrautung in der ökologischen Fruchtfolge Güterfelde. Julius-Kühn-Archiv **434**, 708-711.
- FREIER, B., J. SELLMANN, J. STRASSEMAYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, E. MOLL, V. GUTSCHE und W. ZORNACH, 2012: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2011. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, Heft **166**, 104 Seiten.
- MORTENSEN, D.A., G.A. JOHNSON und L.J. YOUNG, 1993: Weed Distribution in Agricultural Fields. In: Robert, P. und R.H. Rust (Hrsg.): Soil Specific Crop Management, Agronomy Society of America, 113-124.
- NORDBO, E. und S. CHRISTENSEN, 1995: Spatial Variability of Weeds. Proceedings of the Seminar on Site Specific Farming, Danish Institute of Plant and Soil Science. SP-report No. **26**, 67-90.
- PALLUTT, B. und A. BENNEWITZ, 1996: Einfluss von pflugloser Bodenbearbeitung auf die Verunkrautung und den Ertrag von Wintergetreide. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft **XV**, 325-332.
- PALLUTT, B., 2010: 30 Jahre Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz. Journal für Kulturpflanzen **62**, 230-237.
- PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER und E. MOLL, 2010: Dauerfeldversuche auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautbekämpfung. Journal für Kulturpflanzen **62**, 238-247.
- ROLLER, A. und H. ALBRECHT, 2006: Effects of tillage systems on the seed bank persistence and seedling emergence of arable weeds. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft **XX**, 257-265.
- SCHWARZ, J. und E. MOLL, 2010: Entwicklung der Verunkrautung in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Herbizidintensität. Journal für Kulturpflanzen **62**, 317-325.
- SCHWARZ, J., B. PALLUTT und E. MOLL, 2012: Einfluss von Fruchtfolge und Herbizidaufwandmenge auf die Verunkrautung, Julius-Kühn-Archiv **434**, 337-344.
- SCHWARZ, J., 2013: Energetische Betrachtung zum Einsatz von Herbiziden und Bodenbearbeitung. Gesunde Pflanzen **65**, 33-37.
- SPRENGER, B., M. BELDE und H. ALBRECHT, 2002: Populationsdynamik von Ackerwildpflanzen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Fruchtfolge. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft **XVIII**, 277-285.
- Statistisches Bundesamt, 2011: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei Bodenbearbeitung, Bewässerung, Landschaftselemente Erhebung über landwirtschaftliche Produktionsmethoden (ELPM), Fachserie 3, Heft **5**.
- STEINMANN, H.-H., 2013: Glyphosat - ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem „Notwendigen Maß“. Gesunde Pflanzen **65**, 47-56.

Zum Einfluss der Fruchtfolge auf die Abundanzen künstlich etablierter Unkrautarten in zwei Feldversuchen

On the effect of crop rotation on artificially established weed species in two field experiments

Christoph Flucke*, Friederike de Mol und Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Abteilung Phytomedizin, Satower Straße 48, 18059 Rostock, Deutschland

*Korrespondierender Autor, christoph.flucke@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.017

Zusammenfassung

Viele Studien belegen, dass ein regionales Auftreten von gut angepassten Unkrautarten in Verbindung mit regional angebauten Fruchtfolgesystemen steht. Selbstfruchtfolgen oder sehr enge Fruchtfolgen werden als besonders kritisch für die Etablierung und Verbreitung von Problemunkräutern angesehen. Diese Studie untersucht den Einfluss der Fruchtfolge auf das Auftreten von *Amaranthus retroflexus* (L.), *Anchusa arvensis* (L.) M. Bieb., *Echinochloa crus-galli* (L.), *Galium aparine* (L.), *Geranium pusillum* (L.), *Sisymbrium officinale* (L.), *Solanum nigrum* (L.), *Stellaria media* (L.) Vill. und *Viola arvensis* Murray in Fruchtfolgen mit unterschiedlichen phytomedizinischen Risiken. An zwei Standorten in Deutschland werden in einem Feldversuch die Energiepflanzen Mais (M), Winterraps (WR) und Winterweizen [mit früher (WWF) und später Aussaat (WWS)] seit 2008 (Rostock) beziehungsweise 2009 (Göttingen) in vier Fruchtfolgen (M, WR – WWF, WR – M – WWS und WR – WWF – M – WWS) angebaut. Eine Aussaat der genannten Unkrautarten zu Beginn des Versuchs simuliert in allen Systemen einen vergleichbaren künstlichen Unkrautdruck. Die Unkrautartendichten wurden in einem standardisierten Erhebungsverfahren vor dem Einsatz von Herbiziden erfasst. Eine Auswertung der ersten vier beziehungsweise drei Versuchsjahre liefert Hinweise auf fruchtartspezifische Effekte bezüglich des regionalen Auftretens von *A. arvensis*, *E. crus-galli*, *G. pusillum*, *S. nigrum* und *S. media*. Aus ersten fruchtfolgespezifischen Effekten kann geschlossen werden, dass eine Auflockerung eine wirksame vorbeugende Maßnahme zur Verminderung der Unkrautdichten darstellt.

Stichwörter: Energiepflanzen, Fruchtfolgegestaltung, Mais, *Solanum nigrum*, *Stellaria media*, Unkrautmanagement, Winterraps

Abstract

Several studies indicate links between regional occurrence of well adapted weed species and crop rotations. Monocultures or very short crop rotation, which increased in the past decades are crucial for the establishment and dispersion of problematic weed species. In this study the impact of crop rotation on the occurrence of the species *Amaranthus retroflexus* (L.), *Anchusa arvensis* (L.) M. Bieb., *Echinochloa crus-galli* (L.), *Galium aparine* (L.), *Geranium pusillum* (L.), *Sisymbrium officinale* (L.), *Solanum nigrum* (L.), *Stellaria media* (L.) Vill., *Viola arvensis* Murray is investigated in four crop rotations with varying potential of crop health risks. Therefore, maize (M), oilseed rape (WR) and winter wheat [early sowing (WWF) and late sowing (WWS)] are cropped in four different rotations (M, WR – WWF, WR – M – WWS and WR – WWF – M – WWS) at two study sites in Germany since year 2008 (Rostock) and 2009 (Göttingen). At the start of the project selected weed species were sown into some plots in order to simulate an artificial similar weed pressure. In all plots weed species densities were counted before spraying in a standardized observation method. Analyses of four, respectively three years give evidences of crop specific effects regarding *A. arvensis*, *E. crus-galli*, *G. pusillum*, *S. nigrum* and *S. media*. Moreover, first effects of crop rotations on problematic weed species indicates that expanding crop rotations is a preventive tool to reduce weed densities.

Keywords: Crop rotations, energy-crops, maize, oilseed rape, *Solanum nigrum*, *Stellaria media*, weed management

Einleitung

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe besitzt in der landwirtschaftlichen Praxis einen hohen Stellenwert. In den vergangenen Jahren hat sich diese Anbaufläche mehr als verzehnfacht. Es wird vermutet, dass die Nachfrage von Energiepflanzen schon in naher Zukunft zu einer Flächenausdehnung von mehreren Millionen Hektar führen wird (ZEGADA-LIZARAZU und MONTI, 2010). Parallel dazu ist weltweit eine Verkürzung von Fruchtfolgen bis hin zu Selbstfolgen zu

beobachten (BENNETT *et al.*, 2012). In Deutschland sind es vor allem die Energieträger Mais, Winterraps und Wintergetreide (STEINMANN und DOBERS, 2013) die durch eine wachsende ackerbauliche Spezialisierung das agrarische Landschaftsbild häufig in Form von Selbstfruchtfolgen und sehr engen Fruchtfolgen prägen. Aus phytomedizinischer Sicht und mit Blick auf die Entwicklung von Problemunkrautarten, das heißt Unkrautarten mit kulturell ähnlichen phänologischen und physiologischen Eigenschaften und negativen Agrarökosystemfunktion, tragen Maisselbstfolgen und enge Winterrapsfruchtfolgen größere Risiken. Zum Beispiel kann ein einseitiges Herbizidmanagement das Auftreten von gut angepassten Unkrautarten begünstigen (GRUNDY *et al.*, 2010). Des Weiterem zeigten FRIED *et al.* (2008), dass große Unterschiede zwischen flächenspezifischen Unkrautgesellschaften mit der Wahl der Vorfrucht und Wahl der aktuellen Kultur zusammenhängen. So begünstigen Maisselbstfolgen signifikant das Auftreten von gut angepassten Unkrautarten wie *Echinochloa crus-galli* und *Amaranthus retroflexus* (FRIED *et al.*, 2010). HANZLIK und GEROWITT (2010) zeigten, dass auch auf Winterrapsflächen in Deutschland große Unterschiede zwischen Unkrautgesellschaften mit der Wahl der Vorfrucht zusammenhängen. Vor allem *Geranium* spp., *Sisymbrium* spp. und *Anchusa* spp. waren in intensiv bewirtschafteten Winterrapsanbaugesellschaften zu finden (HANZLIK und GEROWITT, 2012).

Diese Studie untersucht in Feldversuchen, ob eine Auflockerung von engen Fruchtfolgen (Maisselbstfolge; Winterraps – Winterweizen) eine wirksame phytosanitäre Maßnahme darstellt und dem Auftreten von Problemunkräutern in Mais und Winterraps entgegenwirkt.

Material und Methoden

Versuchsdesign

In einem Feldversuch werden an den Standorten Rostock (N 54.061595, E 12.083277; HRO) und Göttingen (N 51.557883, E 9.917639; GOE) die Energiepflanzen Mais (M), Winterraps (WR) und Winterweizen (WW) seit 2008 beziehungsweise 2009 in vier unterschiedlich konzipierten Fruchtfolgen (FF) in einem Split-Plot Design angebaut. Bedingt durch die Stellung innerhalb der Fruchtfolgen erfolgt der Anbau von WW zu einem frühen (September; WWF) oder spätem (Oktober; WWS) Aussattermin. Neben einer Selbst- und engen Fruchtfolge [M (FF1) und WR – WWF (FF2)] erfolgt die Kultivierung von M und WR in zwei weiteren Fruchtfolgen [WR – M – WWS (FF3) und WR – WWF – M – WWS (FF4)]. Es handelt sich an beiden Standorten um einen echten Fruchtfolgesystemversuch, das heißt jedes Fruchtfolgeglied wird in jedem Jahr, auf vier Parzellen (HRO: a = 6 m x 6 m; GOE: a = 8 m x 7,5 m) und mit vier Wiederholungen angebaut (Split). Ein weiterer Versuchsfaktor ist die Einsaat von ausgewählten Unkrautarten (Plot). Neben drei Maisunkrautarten [*Amaranthus retroflexus*, *Echinochloa crus-galli*, *Solanum nigrum*] wurden drei Rapsunkrautarten [*Anchusa arvensis*, *Sisymbrium officinale*, *Stellaria media*], so wie drei kulturübergreifende Arten [*Galium aparine*, *Geranium pusillum*, *Viola arvensis*] in den Oberboden eingesät. Der bodenbürtige Samenvorrat wurde an beiden Standorten in allen Fruchtfolgefeldern in zwei Parzellen durch eine Einsaat von 1.200 Samen/m² und Art (FF1, FF3, FF4) beziehungsweise 600 Samen/m² und Art (FF2) in einen Sub-Plot/Parzelle (2 m x 4 m) erhöht. Da der Anbau von FF2 durch ein konservierendes Bodenbearbeitungssystem ohne Pflug erfolgt, wurde die Anreicherung des Samenvorrats im Oberboden auf 600 Samen/m² und Art verringert. Insgesamt erfolgte eine Anreicherung des Bodensamenvorrats um 10.800 Samen/m² (FF1, FF3, FF4) beziehungsweise 5.400 Samen/m² (FF2).

Standorte und agronomische Maßnahmen

Das Bodengefüge am Standort HRO besteht aus einem sandigen Lehm über Grundmoränen-Geschiebe und besitzt eine Bodenzahl von 45. Die Bodeneigenschaften am Standort GOE entsprechen einem tonigen Schluff auf tiefgründigem Auenlehm und einer Bodenzahl von 86. In den FF1, FF3 und FF4 wird an beiden Standorten vor und nach Mais bis zu einer Tiefe von 25 cm gepflügt. In FF2 wird der Boden konservierend bearbeitet. Aussaaten, Düngemaßnahmen und

Ernten erfolgen an beiden Standorten zu agronomisch sinnvollen Terminen. Der Herbizideinsatz richtet sich nach dem situationsbedingten Unkrautdruck. Der Einsatz von Fungiziden und Insektiziden erfolgt je nach Notwendigkeit und unter Berücksichtigung der Empfehlungen des Pflanzenschutzdienstes der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Warndienst) und dem Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei in Mecklenburg-Vorpommern (Warndienst).

Datenerhebung und -analyse

Die Erfassung ausgesäeter Unkrautarten erfolgte durch ein standardisiertes Boniturverfahren. Mit dem Göttinger Zähl- und Schätzrahmen (0,10 m²) wurden die Abundanzen (Pflanzen · m⁻²) der Unkrautarten durch 10 Messwert-Wiederholungen pro Parzelle ermittelt. Der Erhebungszeitpunkt richtete sich in jedem Anbaujahr nach den Entwicklungsstadien der Kulturen (BBCH = 12-14; M = Mai/Juni, WR = September/Oktober, WWF = Oktober/November). Bedingt durch einen späteren Aussaattermin erfolgte die Datenerhebung im WWS im Frühjahr (April/Mai) einer jeden Anbauperiode. Alle Erhebungen fanden vor dem Einsatz von Herbiziden statt. Die ermittelten Unkrautdichten wurden artspezifisch für jede FF über den Versuchszeitraum von 2008 - 2011 (HRO) beziehungsweise 2009 - 2011 (GOE) zu einer Stichprobe aggregiert und mittels Verteilungsanalysen auf eine Etablierung in den Fruchtfolgen untersucht. Die aggregierten Stichproben wurden mit dem Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung geprüft. Es lagen keine Normalverteilungen vor. Die Etablierung der ausgesäeten Unkrautarten wird fruchtfolgespezifisch für beide Standorte durch Berechnung der oberen Quartilwerte (Q₃), für Parzellen mit bodenbürtiger sowie bodenbürtiger + eingesäeter Verunkrautung, dargestellt. Q₃ bezeichnet den Wert, der die Messwerte in 75 %-Anteile unterhalb und 25 % oberhalb trennt so wie der Median die Stichprobe in jeweils zwei 50 % Bereiche aufteilt (KÖHLER *et al.*, 2012). Wir nutzen den Q₃ anstatt des Medians, um die Werte grafisch darstellen zu können. Eine Etablierung der ausgesäeten Unkrautarten in den Fruchtfolgen wurde als erfolgreich gewertet, wenn $Q_3 \geq 3 \text{ Pflanzen} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. Auftreten und Dichte der Unkrautarten wurde, aufgrund fehlender Normalverteilung, mittels Rangvarianzanalyse (Kruskal Wallis Test) auf signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$) zwischen den Fruchtfolgen und Fruchtfolgegliedern untersucht. Statistische Auswertungen erfolgten mit R Software und den Paketen agricolae und stats (R CORE TEAM, 2013).

Ergebnisse

Etablierung ausgesäeter Unkrautarten

Am Standort HRO konnten sich fünf der neun ausgesäeten Unkrautarten in den Fruchtfolgen etablieren. *S. media* besitzt in den FF1 - 4 ein hohes Vorkommen in Parzellen mit bodenbürtiger Verunkrautung (Abb. 1a), während die Abundanz auf den Parzellen mit gezielter Einsaat (Abb. 1c) zusätzlich erhöht werden konnte. Weitere Einsaaterfolge zeigen sich für *A. arvensis*, *E. crus-galli*, *G. pusillum* und *V. arvensis*. Die Dichte von *G. pusillum* und *V. arvensis* konnte in Parzellen mit Unkrauteinsaat in allen Fruchtfolgen um ein Vielfaches gesteigert werden, während für *A. arvensis* und *E. crus-galli* nur geringe Veränderungen im Auftreten erkennbar sind. Darüber hinaus konnten keine Effekte der Einsaat für *A. retroflexus*, *G. aparine*, *S. nigrum* und *S. officinale* am Standort HRO gemessen werden (Abb. 1e). Am Standort GOE führte die Aussaat von *G. pusillum*, *S. media* und *V. arvensis* zu einer Erhöhung der Artdichten auf Parzellen mit Unkrauteinsaat (Abb. 1b und 1d). Im Gegensatz dazu konnte nur ein leichter Anstieg von *S. nigrum* auf Parzellen mit Unkrauteinsaat gegenüber Parzellen mit bodenbürtiger Verunkrautung gemessen werden. Bei *A. arvensis*, *A. retroflexus*, *E. crus-galli*, *G. aparine* und *S. officinale* traten keine Effekte der Einsaat am Standort GOE auf (Abb. 1f). Für weitere Betrachtungen wurden Arten ohne erkennbaren Einsaaterfolg (Abb. 1e-f) standortspezifisch aussortiert.

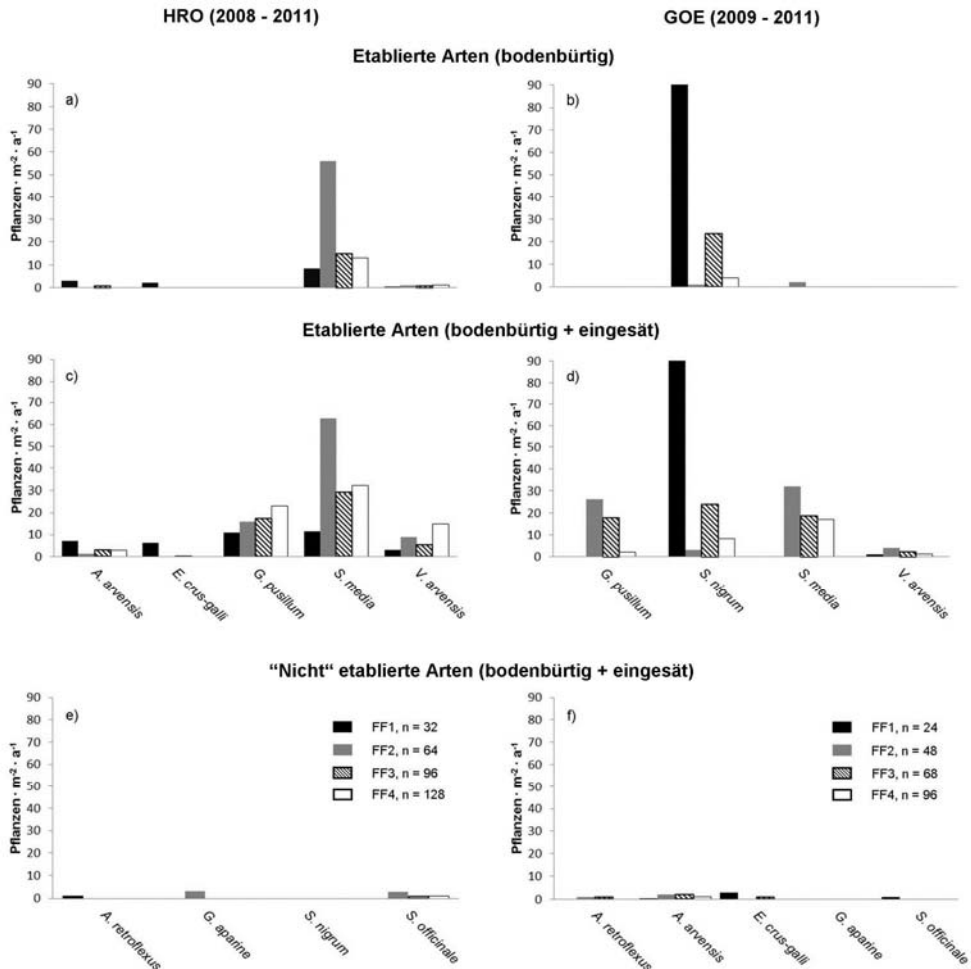


Abb. 1 Obere Quartilwerte (Q_3 ; Pflanzen \cdot m² \cdot a⁻¹) ausgesäter Unkrautarten für Parzellen mit bodenbürtiger [a) und b)] und künstlicher Etablierung [bodenbürtig + eingesät; c) - f)].

Fig. 1 Upper quartile (Q_3 ; Plants \cdot m² \cdot yr⁻¹) of sowing weed species for plots with soil-borne [a) and b)] and artificial establishment [soil-borne + added weed seeds; c) - f)].

Fruchtfolge- und fruchtartspezifische Unkrautverteilung

Tabelle 1 zeigt fruchtfolge- und fruchtartspezifische Schwerpunkte im Auftreten von *A. arvensis*, *E. crus-galli*, *G. pusillum*, *S. media* und *V. arvensis* am Standort HRO. Die Verteilung der Dichte von *A. arvensis* und *E. crus-galli* unterscheidet sich signifikant zwischen den Fruchtfolgen ($\chi^2 > 7,81$; $P < 0,05$) und sinkt mit abnehmendem Maisanteil in der Rotation. Hohe Unkrautdichten von *S. media* treten vor allem in Fruchtfolgen mit WR- und WW-Anteilen auf. Das Vorkommen von *S. media* unterscheidet sich dabei signifikant zwischen den Fruchtfolgen ($\chi^2 > 7,81$; $P < 0,05$), wobei die höchsten Unkrautdichten im WR und WWF auftreten. Im Gegensatz dazu kann kein signifikanter Unterschied im Auftreten von *V. arvensis* und *G. pusillum* zwischen den Fruchtfolgen festgestellt werden. Tendenziell höhere Dichten beider Unkrautarten kommen in WR und WWS beziehungsweise WR, WWF und WWS vor.

Tab. 1 Obere Quartilwerte (Q_3 ; Pflanzen $\cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$) von *A. arvensis*, *E. crus-galli*, *G. pusillum*, *S. media* und *V. arvensis* in den Fruchtfolgen (FF1 – FF4) sowie kulturspezifisch für alle Fruchtfolgeglieder (Mais FF1 – WWS FF4) am Standort HRO (2008 – 2011). χ^2 -Werte und *P*-Werte (Kritische Werte: $\chi^2_{3;0,95} = 7,81$; $\chi^2_{9;0,95} = 16,92$) kennzeichnen signifikante Unterschiede in der artspezifischen Verteilung zwischen den Gruppen (Kruskal Wallis Test). Gruppen mit gleichem Buchstaben zeigen keine signifikanten Unterschiede in der Verteilung. $\alpha = 0,05$.

Tab. 1 Upper quartile (Q_3 ; Plants $\cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$) of *A. arvensis*, *E. crus-galli*, *G. pusillum*, *S. media* and *V. arvensis* at study side HRO (year 2008 – 2011) for crop rotations (FF1 – FF4) and crops of each rotation (Mais FF1 – WWS FF4), respectively. χ^2 -values und *P*-values (critical values: $\chi^2_{3;0,95} = 7,81$; $\chi^2_{9;0,95} = 16,92$) denotes significant differences in weed density dispersion between groups (Kruskal Wallis Test). Groups with same letters were not significantly different. $\alpha = 0,05$.

	n	<i>A. arvensis</i>			<i>E. crus-galli</i>			<i>G. pusillum</i>			<i>S. media</i>			<i>V. arvensis</i>		
		Q_3	χ^2	<i>P</i>	Q_3	χ^2	<i>P</i>	Q_3	χ^2	<i>P</i>	Q_3	χ^2	<i>P</i>	Q_3	χ^2	<i>P</i>
Fruchtfolge			37	<0,001		69	<0,001		1	0,77		34	<0,001		4,1	0,25
FF1	64	6,0	a		3,3	a		4,0			10,0	c		1,0		
FF2	128	1,0	c		0	c		1,3			57,0	a		2,0		
FF3	188	2,0	b		0	b		2,5			22,2	b		4,0		
FF4	252	1,0	bc		0	b		4,0			24,2	b		3,0		
Kultur + Fruchtfolge			54	<0,001		124	<0,001		12	0,21		92	<0,001		39	<0,001
Mais FF1	64	6,0	a		3,3	a		4,0			10,0	c		1,0	cde	
Mais FF3	64	3,3	ab		1,0	ab		0			11,0	c		0	e	
Mais FF4	64	2,0	bc		0,3	bc		1,0			9,3	c		1,0	de	
WR FF2	64	1,0	d		0	e		5,5			44,0	ab		2,0	abc	
WR FF3	60	2,0	cd		0	d		10,3			31,3	b		10,5	ab	
WR FF4	60	2,0	cd		0	cd		9,0			25,3	b		10,5	abc	
WWF FF2	64	1,0	d		0	e		1,0			203,0	a		2,0	bcd	
WWF FF4	64	1,0	d		0	e		15,0			83,0	a		3,3	ab	
WWS FF3	64	1,0	cd		0	e		3,8			28,3	ab		7,5	a	
WWS FF4	64	1,0	d		0	e		2,8			18,0	b		5,5	ab	

Am Standort GOE sind Unterschiede im Auftreten von *G. pusillum*, *S. nigrum*, *S. media* und *V. arvensis* (Tab. 2) erkennbar. Die Dichten von *G. pusillum* und *S. media* unterscheiden sich signifikant zwischen den Fruchtfolgen ($\chi^2 > 7,81$; $P < 0,05$), wobei hohe Dichten nur beziehungsweise vor allem im WR der FF2-4 auftreten. Auch das Auftreten von *S. nigrum* unterscheidet sich signifikant zwischen den Fruchtfolgen. Als Schwerpunkt für hohe Dichten wurde FF1 sowie Mais als Fruchtfolgeglied in FF3 und FF4 ermittelt. Im Gegensatz dazu weisen die Dichten von *V. arvensis* keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen auf, obwohl ein signifikanter fruchtartspezifischer Effekt im Auftreten sichtbar ist.

Tab. 2 Obere Quartilwerte (Q_3 ; Pflanzen $\cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$) von *G. pusillum*, *S. nigrum*, *S. media* und *V. arvensis* in den Fruchtfolgen (FF1-FF4) sowie kulturspezifisch für alle Fruchtfolgeglieder (Mais FF1 – WWS FF4) am Standort GOE (2009 – 2011). χ^2 -Werte und *P*-Werte (Kritische Werte: $\chi^2_{3;0,95} = 7,81$; $\chi^2_{9;0,95} = 16,92$) kennzeichnen signifikante Unterschiede in der artspezifischen Verteilung zwischen den Gruppen (Kruskal Wallis Test). Gruppen mit gleichem Buchstaben besitzen keinen signifikanten Unterschied in der Verteilung; $\alpha = 0,05$.

Tab. 2 Upper quartile (Q_3 ; Plants $\cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$) of *G. pusillum*, *S. nigrum*, *S. media* and *V. arvensis* at study site GOE (year 2009 – 2011) for crop rotations (FF1 – FF4) and crops of each rotation (Mais FF1 – WWS FF4), respectively. χ^2 -values and *P*-values (critical values: $\chi^2_{3;0,95} = 7,81$; $\chi^2_{9;0,95} = 16,92$) denotes significant differences in weed density dispersion between groups (Kruskal Wallis Test). Groups with same letters were not significantly different; $\alpha = 0,05$.

	n	<i>G. pusillum</i>			<i>S. nigrum</i>			<i>S. media</i>			<i>V. arvensis</i>		
		Q_3	χ^2	<i>P</i>	Q_3	χ^2	<i>P</i>	Q_3	χ^2	<i>P</i>	Q_3	χ^2	<i>P</i>
<i>Fruchtfolge</i>			12	<0,001		52	<0,001		47	<0,001		3	0,35
FF1	48	0	b		112,2	a		0	c		2,0		
FF2	96	1,2	a		1,2	c		15,5	a		14,0		
FF3	136	0	ab		24,2	b		4,0	b		23,0		
FF4	192	0	b		6,0	b		1,2	b		12,0		
<i>Kultur + Fruchtfolge</i>			67	<0,001		311	<0,001		118	<0,001		44	<0,001
Mais FF1	48	0	b		112,3	b		0	e		0	bcd	
Mais FF3	40	0	b		88,0	ab		0	de		0	de	
Mais FF4	48	0	b		161,8	a		0	e		0	cde	
WR FF2	48	26,5	a		4,3	c		20,5	a		3,3	a	
WR FF3	48	29,0	a		11,3	c		23,5	ab		1,3	ab	
WR FF4	48	36,0	a		3,0	c		30,0	ab		1,0	ab	
WWF FF2	48	0	b		0	d		6,8	b		0	cde	
WWF FF4	48	0	b		0	d		1,3	c		0	e	
WWS FF3	48	0	b		0	d		2,0	c		0	bc	
WWS FF4	48	0	b		0	d		1,0	cd		0	bc	

Diskussion

Untersuchungen von Fruchtfolgeeffekten auf Unkrautarten beziehungsweise Unkrautgesellschaften benötigen häufig lange Zeit bevor der Samenvorrat und die daraus auflaufende bodenbürtige Verunkrautung reagieren (GEROWITT und BODENDÖRFER, 1998; DOUCET *et al.*, 1999). Um Fruchtfolgeeffekte, das heißt eine Beeinflussung der Verunkrautung in Vielfalt und Dichte, schneller erkennen und messen zu können, erfolgte zu Beginn dieser Studie eine parzellenspezifische Aussaat von Problemunkrautarten.

In Regionen mit intensivem Maisanbau gehören *E. crus-galli* und *S. nigrum* zu den 15 wichtigsten Unkrautarten (MEHRTENS *et al.*, 2005). In dieser Studie führte eine Auflockerung von Maisselbstfolgen mit Wintererbsen und Winterweizen zu einer fruchtfolgespezifischen Abnahme von *A. arvensis* und *E. crus-galli* am Standort Rostock, so wie *S. nigrum* am Standort Göttingen. HANZLIK und GEROWITT (2012) fanden einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von *A. arvensis* und Regionen mit intensivem Rapsanbau. Hier trat diese Art auch im Mais häufig in hohen Dichten auf. Dieser Befund liefert einen Hinweis darauf, dass *A. arvensis* durchaus nicht auf Raps als Feldfrucht beschränkt ist. Auch *E. crus-galli* und *S. nigrum* traten im Mais häufig in hohen Dichten auf. Dies kann auf den artspezifischen Lebenszyklus beziehungsweise die für die Keimung notwendige Basistemperatur sowie die potentielle Keimperiode von *E. crus-galli* und *S. nigrum* zurückgeführt werden (GUILLEMIN *et al.*, 2012). Während die Dichte von *A. arvensis* und *E. crus-galli* durch

erweiterte Fruchtfolgegestaltung im Mais sinkt, konnte ein solcher Effekt für *S. nigrum* nicht gemessen werden.

Eine Auflockerung von Wintertraps - Winterweizen Fruchtfolgen mit Mais führte zu einer fruchtfolgespezifischen Abnahme von *S. media* am Standort Rostock, sowie zu einer Abnahme von *G. pusillum* und *S. media* am Standort Göttingen. Hohe Dichten von *G. pusillum* und *S. media* traten in Göttingen vor allem im Wintertraps auf. In Rostock weisen vor allem Winterweizen und Wintertraps hohe Dichten von *G. pusillum* und *S. media* auf. *S. media* führt bereits bei geringer Dichte (1,4 Pflanzen · m⁻²) zu einem Ertragsverlust (5 %) im Wintertraps (LUTMAN *et al.*, 2000). Die Art zählt zu den wichtigsten Unkräutern in Deutschland (GOERKE *et al.*, 2008; HANZLIK und GEROWITT, 2012). Eine erweiterte Fruchtfolgegestaltung führte am Standort Rostock zu einer Abnahme von *S. media* im Wintertraps und Winterweizen.

Die Auswertung liefert erste Hinweise darauf, dass eine Auflockerung von Maisselbstfolgen und engen Wintertrapsfolgen dem Auftreten von regional bedeutsamen Problemunkrautarten entgegenwirkt und somit eine wirksame phytosanitäre Maßnahme darstellen kann.

Literatur

- BENNET, A. J., G. D. BENDING, D. CHANDLER, S. HILTON und P. MILLS, 2012: Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotations. *Biological Reviews* **87**, 52-71.
- DOUCET, C., S. E. WEAVER, A. S. HAMILL und J. ZHANG, 2011: Separating the effects of crop rotation from weed management on weed density and diversity. *Weed Science* **47** (6), 729-735.
- FRIED, G., L. R. NORTON und X. REBOUD, 2008: Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **128**, 68-76.
- FRIED, G., S. PETIT und X. REBOUD, 2010: A specialist-generalist classification of the arable flora and its response to changes in agriculture practices. *BMC Ecology* **10**, 20.
- GEROWITT B. und H. BODENDÖRFER, 1998: Long-term population development of *Viola arvensis* Murr. in a crop rotation. I. Field experiments. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **105** (6), 641-654.
- GOERKE, K., U. RICHTER, M. SCHULTE und B. GEROWITT, 2008: Regionale Unterschiede in der Rapsunkrautflora Deutschlands. *Gesunde Pflanzen* **60**, 151-158.
- GUILLEMIN, J.-P., A. GARDARIN, S. GRANGER, C. REBEL, N. MUNIER-JOLAIN und N. COLBACH, 2012: Assessing potential germination period of weeds with base temperatures and base water potentials. *Weed Research* **53**, 76-87.
- GRUNDY, A.C., A. MEAD, W. BOND, G. CLARK und S. BURSTON, 2010: The impact of herbicide management on long-term changes in diversity and species composition of weed populations. *Weed Research* **51**, 187-200.
- HANZLIK, K. und B. GEROWITT, 2011: The importance of climate, site and management on weed vegetation in oilseed rape in Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **141**, 323-331.
- HANZLIK, K. und B. GEROWITT, 2012: Occurrence and distribution of important weed species in German winter oilseed rape fields. *Journal of Plant Diseases and Protection* **119** (3), 107-120.
- KÖHLER, W., G. SCHACHTEL und P. VOLESKE: Beschreibende Statistik. In: *Biostatistik – Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012, 11-76.
- LUTMAN, P. J. W., P. BOWERMAN, G. M. PALMER und G. P. WHYTOCK, 2000: Prediction of competition between oilseed rape and *Stellaria media*. *Weed Research* **40**, 255-269.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE und K. HURLE, 2005: Unkrautflora in Mais – Ergebnisse eines Monitorings in Deutschland. *Gesunde Pflanzen* **57**, 206-218.
- STEINMANN, H.-H. und E. S. DOBERS, 2013: Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. *Journal of Plant Diseases and Protection* **120** (2), 85-94
- ZEGADA-LIZARAZU, W. und A. MONTI, 2010: Energy crops in rotation – A review. *Biomass and Bioenergy* **35**, 12-25.

Seed ecology of *Bromus sterilis* L.

Samenökologie von *Bromus sterilis* L.

Veronika Žďárková*, Kateřina Hamouzová, Josef Holec, Jaromír Janků and Josef Soukup

Czech University of Life Sciences, Faculty of Agrobiology, Food and Natural Resources,
Kamycka 129, 165 21 Prague 6-Suchbátol

*Corresponding author, zdarkova@af.czu.cz



DOI 10.5073/jka.2014.443.018

Summary

Bromus sterilis L. (barren brome) has become a troublesome weed of winter cereals in reduced tillage systems, mainly in South and North America, middle and Western Europe. In the Czech Republic, its importance has increased dramatically over the past 10 years. Barren brome is reported as a problem weed in other winter crops such as oil seed rape, in vineyards and in other cultivated places. In this study, the dormancy and germination under different temperatures, water and light regimes were investigated. Emergence from different depths and persistence in the soil profile were investigated under field conditions. The seeds of *Bromus sterilis* showed broad ecological valence to hydrothermal factors germinating in the wide range of 5 to 35 °C. Similarly, no strong effect on the germination in an environment with low water potential was observed. The response to light at various temperatures showed that seeds germinated better in darkness. The emergence declined significantly with burial depth (under 40 mm). The loss of primary dormancy was rapid in time and only 50% of the seeds germinated within 8 weeks after collecting from maternal plants. The seeds were not able to survive in the soil seed bank for a longer time and fall seeds lost viability 1 year after burial in a soil profile.

Keywords: *Bromus sterilis*, emergence, germination, seed dormancy, viability

Zusammenfassung

Bromus sterilis L. (Taube Trespe) hat sich in den letzten Jahren zu einem problematischen Unkraut im Wintergetreide bei reduzierter Bodenbearbeitung, vor allem in Süd- und Nordamerika sowie in Mittel- und Westeuropa entwickelt. Seine Bedeutung hat auch in der Tschechischen Republik in den vergangenen 10 Jahren stark zugenommen. In dieser Arbeit wurden die Dormanz und Keimung unter verschiedenen Temperatur-, Wasser- und Licht-Regimen untersucht. Auch der Auflauf aus unterschiedlichen Bodentiefen und die Lebensfähigkeit im Boden wurden unter Feldbedingungen untersucht. Die Samen der Tauben Trespe zeigten breite ökologische Valenz in Bezug auf hydrothermale Faktoren und keimten in einem breiten Temperaturbereich von 5 – 35 °C. Ebenso wurde kein starker Einfluss des niedrigen Wasserpotentials auf die Keimung festgestellt. Die Samen keimen unabhängig von der Temperatur besser im Dunkeln als im Licht. Der Auflauf nahm signifikant mit der Bodentiefe (unter 40 mm) ab. Ein relativ rascher Verlust der primären Dormanz wurde beobachtet und die Samen keimten 8 Wochen nach dem Absammeln von den Mutterpflanzen nur noch zu 50 %. Die Samen waren nicht imstande in der Samenbank für längere Zeit zu überleben. Nach einem Jahr im Boden waren die Samen nicht mehr lebensfähig.

Stichwörter: Auflauf, *Bromus sterilis*, Dormanz, Keimung, Lebensfähigkeit

Introduction

Bromus sterilis L. (*Anisantha sterilis*, barren brome) has become a troublesome annual weed of winter cereals in reduced tillage systems, mainly in South and North America, Middle and West Europe (BUDD, 1981; HÄFLIGER and SCHOLZ, 1981; FROUND–WILLIAMS, 1983; EGGERS, 1990; ALLEN and MEYER, 2002; ANDERSSON *et al.*, 2002; MIKULKA *et al.*, 2005). This weed is very difficult to control especially in cereals, because of its fast population dynamics and the lack of efficient herbicides available. In the Czech Republic, its importance has increased dramatically over the past 10 years. Barren brome is reported as a problem weed in other winter crops such as oil seed rape, in vineyards and in other cultivated plants.

Primary dormancy of *B. sterilis* is very short (HILTON, 1984). Typically, *B. sterilis* emerges in early autumn, together with winter cereals and overwinters in the cereals stands (KOUBKOVÁ, 2001). The temperature optimum for germination ranges between 5 and 23 °C (HILTON, 1984). Mature dry

seeds germinate best at a temperature of 15 °C without light as a trigger (BUHLER and HOFFMAN, 2000). Germination of freshly harvested seeds can be inhibited by red light (HILTON, 1987). Light induced dormancy was observed by POLLARD (1982) and PETERS *et al.* (2000). The seeds of *B. sterilis* are able to germinate from 0 to 7 cm soil depths. Their persistence in soil is short (ROBERTS, 1986). KOUBKOVÁ (2001) reported that the seeds did not emerge after burial at 7 to 10 cm.

This research is focused on the influence of hydrothermal and light conditions on viability, germination and emergence of a selected Czech population of *Bromus sterilis*.

Material and Methods

Seeds of *B. sterilis* for experiments were collected in July 2011 and 2012 in one locality close to Dřemčice (50° 28' 28"N, 13° 54' 47"E) in the Czech Republic. Seeds were air dried after collection and stored dry in darkness at 20 °C in the lab until use.

Dormancy and germination laboratory tests

Seed germination was tested in 12-cm-diam Petri dishes. Into these dishes, smaller Petri dishes of 7-cm-diam were inserted upside-down and covered by cellulose filter paper. The cellulose filter paper was moistened with 20 ml of distilled water or polyethylene-glycole 6000 (PEG) solution. 25 seeds were placed per Petri dish in four replicates for each treatment. Two different light regimes (12 hour light / 12 hour darkness and permanent darkness) were used. Germination tests were carried out under fluorescent light (growth chamber Sanyo MLR-350H), providing a photo flux density of approximately 160 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and R/ FR ratio of 15. For germination in complete darkness, the Petri dishes were wrapped in one layer of aluminium foil. Seeds were inspected for germination in Petri dishes for 21 days; germinated seeds were counted daily. The dishes in the darkness regime were inspected under green light of a wavelength of 532 nm, which does not affect the seed dormancy.

Each remaining not germinating seed was tested for viability by the tetrazolium chloride test. Seeds were placed in a Petri dish containing 10 ml of freshly prepared 0.2% solution of 2, 3, 5-triphenyl tetrazolium chloride and incubate for half an hour. The seeds coloured pink or red were considered viable.

A. Dormancy was tested at temperatures of 20 °C, 10 °C and 20/10 °C in one week intervals (first 2 months) and one month intervals until 12 months after harvest.

B. Germination was tested in a wide range of temperatures. Seeds were incubated at 0 °C, 5 °C, 10 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C, and 45 °C. The experiment was carried out with fully matured non-dormant seeds.

C. Effect of water stress on germination was simulated by usage of the PEG 6000 solution. Temperatures in climatic chambers were set to 20 °C and 10 °C. The concentrations of PEG 6000 solutions were calculated according to Michel and Kaufmann (1973): $\Psi = -0.25, -0.5, -0.75, -1, -1.25,$ and -1.5 MPa for 20 °C and $\Psi = -0.075, -0.1, -0.25, -0.5, -0.75, -1$ for 10 °C. As the control variant, a germination in distilled water ($\Psi = 0$) was used. The experiment was carried out with fully matured non-dormant seeds.

The outputs of the B and C experiments were the seed germination values (%) and time, which is necessary for germination of 50% of all germinated seeds during an observation period for each treatment (T_{50} , days). T_{50} values were calculated using non-linear regression (Log-logistic four parameters model).

Dynamics of *Bromus sterilis* emergence under field conditions

B. sterilis seeds were sown in the autumn of 2012 on an experimental field of CULS (50°7'39.803"N, 14°22'28.136"E) at different depths (0, 2, 4, 8, and 12 cm) with four replications each. This experiment started at the 12th of September 2012. For each treatment and replication, 500 seeds per 1m² were sown. Emergence was counted every week on 1m². Soil moisture and temperature

were recorded using automatic sensors (2 x Pt1000+MinikinTT and Gypsum block GB3+MicroLog SP3).

Persistence of *Bromus sterilis* seeds in a soil profile

A field trial on annual dynamics within a soil seed bank was established in 2012 starting on the 12th of September. 50 seeds were packed in plastic net bags together with 100 ml of soil. The seed bags were buried in different depths of a soil profile (4, 12, and 24 cm) in four replications. The bags were excavated monthly and viable seeds were recorded.

Analysis of variance was used for data evaluation in the Statistica program (version 10) and non-linear regression in R-Project (version 2.15.2).

Results

Dormancy and germination

A. The primary dormancy of *B. sterilis* seeds was very short, only one month (Fig. 1-3). The seeds did not germinate well in July. Just one week after the harvest of seeds from maternal plants, the germination was only 10% under 12/12 light/darkness and 30% in darkness at 20 °C. In following the 5 weeks, the germination increased to 60% under light and to 92% in darkness. In the following months, the differences in germination at 20 °C were not statistically significant between all light regimes at the probability level $\alpha = 0.05$ (Fig.1). Below 10 °C temperature, the germination one week after harvest was only 20% under light and 90% in darkness. Germination of seeds at 10 °C was lower, increased during the season but reached a maximum only 80% under the light regime. In general, the lower temperature inhibited the germination in July and caused the highest differences between the light and darkness regimes for a whole testing period ($F = 10.958$, $p > 0.001$) (Fig. 2). At changing temperature regimes of 20 °C with light and 10 °C in darkness, the germination was 60% and 100% one week after harvest. Five weeks after the harvest, 93% of the seeds germinated under light and 100% in the darkness regime with changing temperatures. Germination in the months between August and June of the following year did not differ significantly ($F = 3.9064$, $p = 0.00019$) at 20/10 °C.

The seeds of *B. sterilis* germinated better in darkness than under a light regime at all tested temperatures.

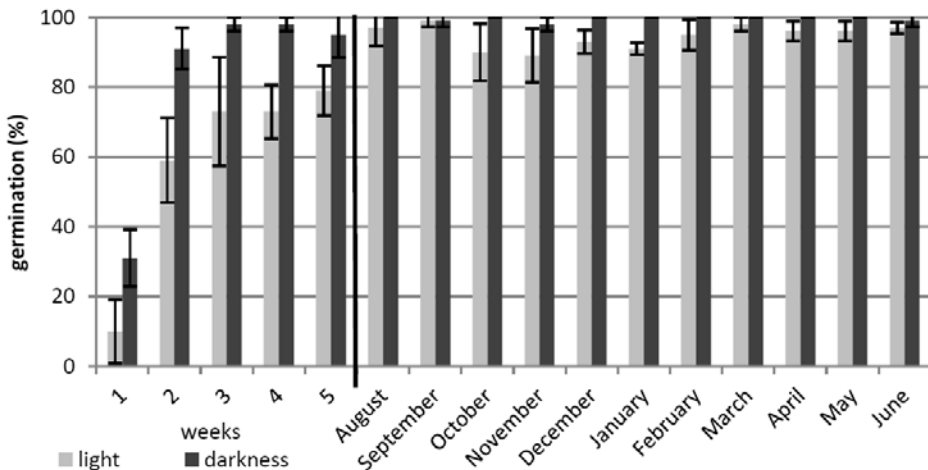


Fig. 1 Germination of *B. sterilis* at 20 °C.

Abb. 1 Keimung von *B. sterilis* bei 20 °C.

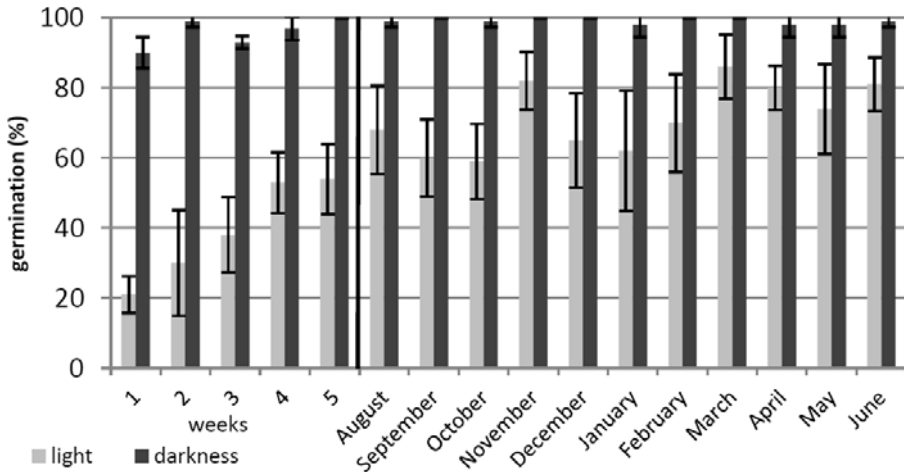


Fig. 2 Germination of *B. sterilis* at 10 °C.

Abb. 2 Keimung von *B. sterilis* bei 10 °C.

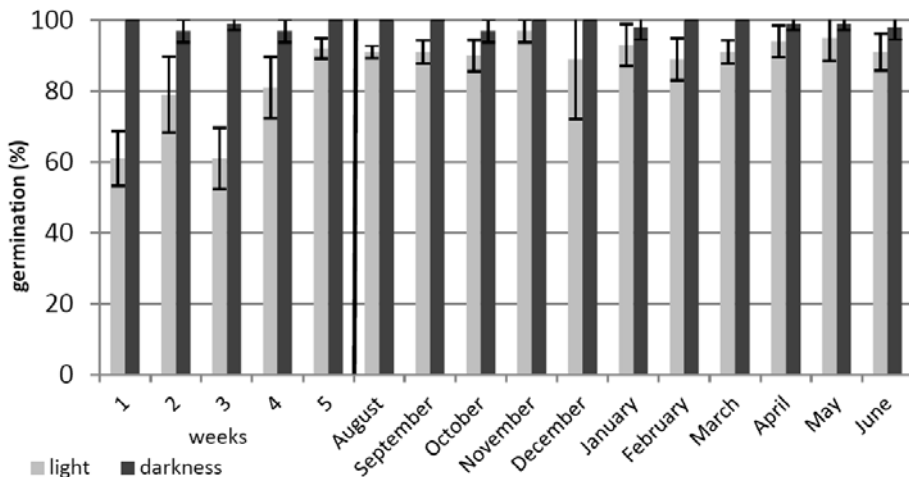


Fig. 3 Germination of *B. sterilis* at 20/10 °C.

Abb. 3 Keimung von *B. sterilis* bei 20/10 °C.

B. The seeds did not germinate at either very low or very high temperatures such as 0 °C, 40 °C, and 45 °C. The optimum temperature for germination ranged between 20 and 30 °C, when the germination reached 95 to 100%. The seeds of *B. sterilis* germinated usually better in darkness than in light. Only at 30 °C, the 12/12 light regime gave better germination than in darkness (Fig. 4).

The time which is necessary for germination of 50% of seeds under different temperatures is presented in Table 1. The seeds germinated most quickly at the temperatures 20 °C and 25 °C in both light regimes where 50% germination was achieved earlier than within one day. On the contrary, at 5 °C under both light regimes, the T_{50} value ranged between 5 and 6 days.

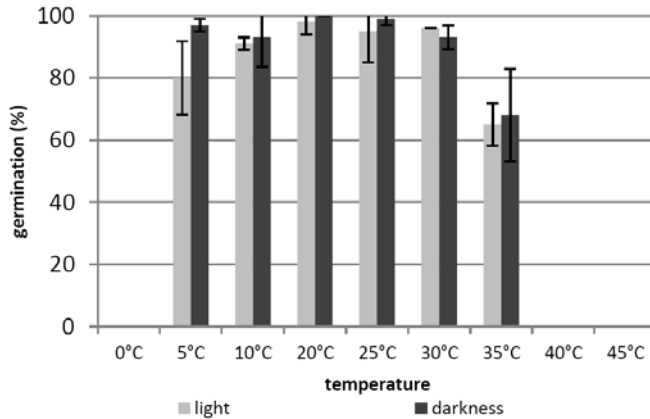


Fig. 4 Germination of *B. sterilis* seeds at different temperatures.

Abb. 4 Keimung von *B. sterilis* bei verschiedenen Temperaturen.

Tab. 1 T₅₀ values (days) of *B. sterilis* at different temperatures.

Tab. 1 T₅₀-Werte (Tage) für *B. sterilis* bei verschiedenen Temperaturen.

temperature	light		darkness	
	T ₅₀	SE	T ₅₀	SE
5 °C	5.95	0.15	5.41	0.13
10 °C	3.93	0.096	2.09	0
20 °C	0.53	0	0.53	0
25 °C	0.41	0	0.63	0
30 °C	1.49	0.25	2.15	0.14
35 °C	1.64	0.006	0.21	0

T₅₀- number of days for germination of 50% seeds, SE- standard error

C. Germination tests under conditions of water stress showed big differences between two light regimes. Substantially higher germination rates were found in darkness, especially for lower water potentials. At 20 °C and darkness, the germination was up to -1.0 MPa similar to control (more than 80%). More intensive water stress caused a decrease of germination rate to 50% for the two lowest potentials. This is still a rather high germination rate showing that *B. sterilis* is able to germinate quite well under conditions of water shortage. Different results were obtained for germination in 12/12 light the regime where already the water potential of -0.25 substantially reduces the germination rate. A water potential of -0.5 MPa decreased the germination to a rate below 20%. At -1.0 MPa and lower, no germination was observed. As presented in Table 2, a decreasing water potential prolonged also the time needed for germination of 50% of the seeds.

At 10 °C, the impact of water stress on germination was higher compared to 20 °C. In permanent darkness, the water potential of -1.0 MPa decreased the germination to 50%. In the 12/12 light regime, the germination rate amounted only to 20% under a potential of -0.075 MPa. No germination was observed at the potentials -0.75 MPa and lower. The influence of water stress on the T₅₀ value at 10 °C is presented in Table 3.

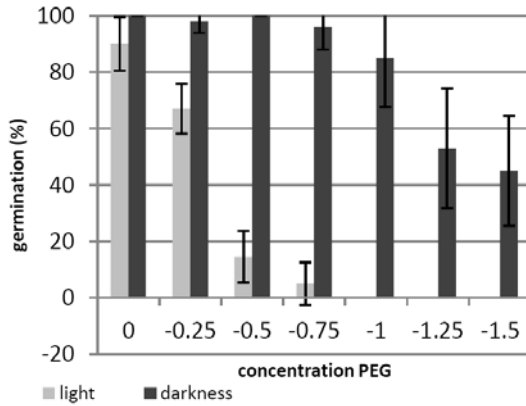


Fig. 5 Germination of *B. sterilis* at decreasing water potential at 20 °C.

Abb. 5 Keimung von *B. sterilis* bei sinkendem Wasserpotential bei 20 °C.

Tab. 2 T₅₀-values (days) at decreasing water potential (Ψ).

Tab. 2 T₅₀-Werte (Tage) bei sinkendem Wasserpotential (Ψ).

temperature 20°C Ψ	light		darkness	
	T ₅₀	SE	T ₅₀	SE
0	0.53	0	0.53	0
-0.25	1.44	0.057	1.11	0.03
-0.5	2.37	0.075	1.64	0.09
-0.75	5.24	0.38	1.67	0.04
-1	4.69	0.11	2.72	0.03
-1.25	6.18	0.23	4.14	0.07
-1.5	14.49	0.015	4.63	0.045

T₅₀- number of days for germination of 50% seeds Ψ (MPa)- values of water potential, SE- Standard error

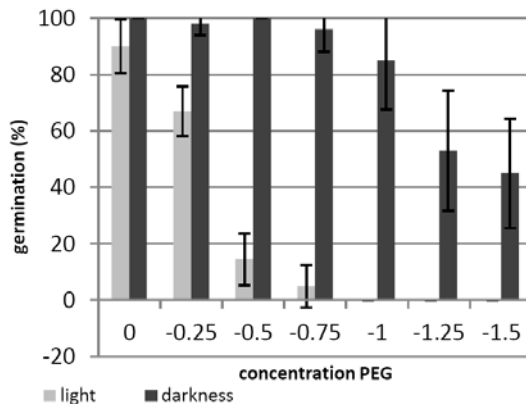


Fig. 6 Germination of *B. sterilis* at decreasing water potential at 10 °C.

Abb. 6 Die Keimung der *B. sterilis* bei sinkendem Wasserpotential bei 10 °C.

Tab. 3 T_{50} -values (days) at decreasing water potential.

Tab. 3 T_{50} -Werte (Tage) bei sinkendem Wasserpotential.

temperature 10°C Ψ	light		darkness	
	D_{50}	SE	D_{50}	SE
-0	3.93	0.096	2.09	0
-0,075	4.68	0.14	2.96	0.006
-0,1	4.84	0.09	3.33	0.018
-0,25	5.91	0.19	3.94	0.005
-0,5	5.99	0.24	4.48	0.017
-0,75	9.8	0.004	5.21	0.054
-1	0	0	5.64	0.13

T_{50} - number of days for germination of 50% seeds Ψ (MPa)- values of water potential, SE- standard error

Emergence under field conditions

Seed emergence decreased significantly with seed depth but also seeds placed on the soil surface emerged with lower rates than those at 2 cm depth (Fig. 7). This can be explained by a seed-soil contact and a lack of moisture necessary for seed imbibitions (BRUCKLER, 1983). Seeds were not able to emerge from 12 cm.

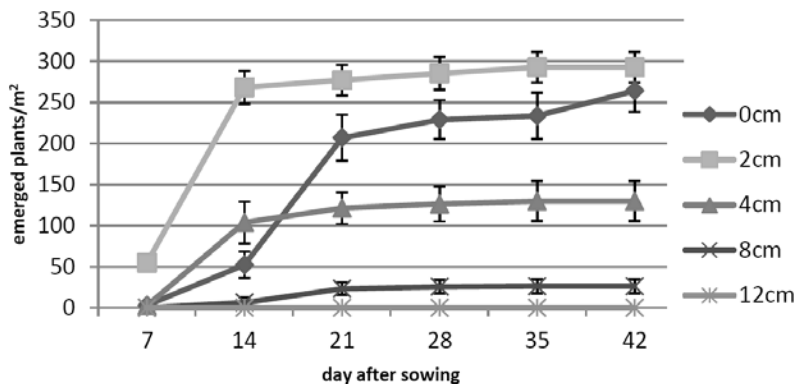


Fig. 7 Emergence of *B. sterilis* seeds from different depths of soil profile.

Abb. 7 Auflauf von *B. sterilis* Samen aus unterschiedlichen Bodentiefen.

Viability of seeds in a soil profile

The majority of seeds (95%) germinated within one month in a soil profile. After the winter, no viable seeds were found in bags buried in the soil profile. The average temperature in the soil (8 cm depth) was 1.07 °C during winter (December-February). Minimum temperature was reached at 9th of December 2012 (-1.58 °C) after starting the project.

Discussion

Except for a few species that germinate mostly in a single flush, many grass weeds demonstrate residual dormancy that protracts germination over several waves during the cropping season or several cropping seasons (KON *et al.*, 2007).

Some *Bromus* species such as *Bromus rigidus* and *Bromus dianthus*, important to Southern Australia, start to germinate 8 months after maturity (KLEEMENN and GILL, 2013) to be able to

overcome dry periods. On the contrary, *B. sterilis* and *B. tectorum* demonstrate a very short primary dormancy only (FROUND-WILLIAMS, 1981; PETERS, 2000; ANDERSSON, 2002).

Also for the tested population of *B. sterilis* in our study, a short and weak primary dormancy was documented.

Based on the results of all germination tests, our study confirmed that seed viability of *B. sterilis* was very high, ranging between 90-100%, similarly to results of HULBERT (1955), HARRADINE (1986), CHEAM (1987), BURNSIDE *et al.* (1996), LINTELL *et al.* (1999), but germination ability was inhibited by light. The inhibition by light was observed also for other relative species such as *B. rigidus* (KLEEMANN and GILL, 2006) and *Bromus dianthus* (MONTE and DORADO, 2011).

B. sterilis is probably more tolerant to drought during the germination at 20 °C (Fig. 3) than *Bromus tomentellus*, *Bromus inermis* and *B. dianthus* species studied by TAVILI *et al.* (2011), MONTE and DORADO (2011). TAVILI *et al.* (2011) tested the effect of water potential on germination of *Bromus inermis* and *Bromus tomentellus*, but because they used a temperature of 25 °C and different concentrations of PEG other than we did, the results are not fully comparable. Nevertheless, all *Bromus* species germination dropped under high water stress.

The field emergence of *B. sterilis* was very high, especially from upper soil layers. The best emergence was obtained from a depth of 2 cm (58.5%) followed by soil surface (53%). Similarly, MIKULKA and KNEIFELOVÁ (2004) found that seeds of *B. sterilis* emerged best from a depth of 2 cm (95%) and 4 cm (90%). For deeper layers, HOWARD (1991) published that seeds of *B. sterilis* emerged at arate of 5% from 10 cm depth. Also other species such as *B. tectorum* (THILL *et al.*, 1984; UPADHYAYA *et al.*, 1986) and *B. dianthus* (HARRADINE, 1986) did not emerge from soil depths below 15 cm.

The viability of *B. sterilis* seeds in a soil profile was less than one month which is in accordance with data published by FROUD-WILLIAMS (1981), ROBERTS (1986), and LINTELL *et al.* (1999). After one month, the majority of seeds germinates in a soil profile. *Bromus rigidus* and *Bromus dianthus* are more persistent in the soil seedbank (GILL and CARSTAIRS, 1988; KON and BLACKLOW, 1988; KLEEMANN and GILL, 2006; KLEEMANN and GILL, 2009) because of dormancy which prevents the germination for some time.

The study documents that the complex of ecological properties of *Bromus sterilis* (short dormancy, high germination rate especially from upper soil layers, tolerance to light, temperature and water regime) is an adaptation strategy which makes the species successful in current farming systems with a high share of winter crops and reduced soil tillage.

Acknowledgements

This study was supported by the project of the National Agency for Agricultural Research (NAZV) QJ1310128.

References

- ALLEN, P. S. and S. E. MEYER, 2002: Ecology and ecological genetics of seed dormancy in downy brome. *Weed Sci.* **50**, 241-247.
- ANDERSSON, L., P. MILBERG, O. SCHÜTZ and O. STEINMETZ, 2002: Germination characteristics and emergence time of annual *Bromus* species of differing weediness in Sweden. *Weed Res.* **42**, 135-147.
- BRUCKLER, L., 1983: Rôle des propriétés physiques du lit de semences sur l'imbibition et la germination. I. Elaboration d'un modèle du système terre-graine. *Agronomie* **3**, 213-222.
- BUDD, E. G., 1981: Survey, dormancy and life cycle of *Bromus sterilis* (Sterile Brome) in cereals, with particular reference to spring barley. *Journal of the National Institute of Agricultural Botany* **15**, 430-439.
- BUHLER, D. D. and M. L. HOFFMANN, 2000: Andersen's guide to practical methods of propagating Weeds and other plants. *Weed Sci.* Society of America, Lawrence, KS.
- BURNSIDE, O. C., R. G. WILSON, S. WEISBERG and K. G. HUBBARD, 1996: Seed longevity of 41 weed species buried 17 years in eastern and western Nebraska. *Weed Sci.* **44**, 74-86.
- CHEAM, A. H., 1987: Longevity of *Bromus dianthus* Roth. Seed in soil at three sites in Western Australia. *Plant Protection Quarterly* **2** (3), 137-139.

- COLBACH, N., C. DÜRR, J. ROGER-EESTRADE, B. CHAUVEL and J. CANEILL, 2006: Alomysys: Modelling black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics, tillage and soil climate I. Construction. Eur. J. Agron. **24**, 95-112.
- EGGERS, T., 1990: Trespen im Ackerbau. Gesunde Pflanzen **42**, 80-84.
- FROUD-WILLIAMS, R.J., 1981: Germination behavior of *Bromus* species and *Alopecurus myosuroides*. Conference on grass weeds in cereals in the United Kingdom, University of Reading, Berkshire, England. Association of Applied Biologists. Wellesbourne, Great Britain, 31-40.
- FROUD-WILLIAMS, R.J., 1983: The influence of straw disposal and cultivation regime on the population dynamics of *Bromus sterilis*. Ann. Appl. Biol. **103**, 139-148.
- GILL, G. S. and S. A. CARSTAIN, 1988: Morphological cytological and ecological discrimination of *Bromus rigidus* and *Bromus dianthus*. Weed Res. **28**, 399-405.
- HÄFLIGER, E. and S. HILDEMAR, 1981: Grass Leeds 2: Leeds of the subfamilies Chloridoideae, Pooideae, Oryzoideae: Ungräser der Unterfamilien Chloridoideae, Pooideae, Oryzoideae: adventices de la sous-familles des Chloridoideae, Pooideae, Oryzoideae: Malezas de las subfamilias Chloridoideae, Pooideae, Oryzoideae, Documenta, CIBA-GEIGY, 32-45.
- HARRADINE, A. R., 1986: Seed longevity and seedling establishment of *Bromus dianthus* Roth. Weed Res. **26**, 173-180.
- Hardegree, S. P., 2006: Predicting germination response to temperature. I. cardinal- temperature models and subpopulation-specific regression. Ann. Bot.-London **97**, 1115-1125.
- HILTON, J. R., 1984: The influence of dry storage temperature on the response of *Bromus sterilis* L. seeds to light. New Phytol. **98**, 129-134.
- HILTON, J. R., 1987: Photoregulation of germination in freshly-harvested and dried seeds of *Bromus sterilis* L. J. Exp.Bot. **38**, 286-292.
- HOWARD, C. L., 1991: Comparative ecology of four brome grasses, Ph. D-thesis, University of Liverpool.
- HULBERT, L. C., 1955: Ecological studies of *Bromus tectorum* and another annual Bromegrasses. Ecol. Monogr. **25**, 181-213.
- KLEEMANN, S. G. L. and G. S. GILL, 2013: Seed dormancy and seedling emergence in ripgut Brome (*Bromus dianthus*) populations in Southern Australia. Weed Sci. **61**, 222-229.
- KLEEMANN S. G. L. and G. S. GILL, 2009: Population ecology and management of rigid brome (*Bromus rigidus*) in Aistralia cropping systems. Weed Sci. **57**, 202-207.
- KLEEMANN, S. G. L. and G. S. GILL, 2006: Differences in the distribution and seed germination behaviour of populations of *Bromus rigidus* and *Bromus dianthus* in South Australia: adaptations to habitat and implications for weed management. Australas J. Agr. Res. **57**, 213-219.
- KON, K. F., G. B. FOLLAS and D. E. JAMES, 2007: Seed dormancy and germination phenology of grass weeds and implications for their control in cereals. New Zeal. Plant Protection **60**, 174-182.
- KON, K. F. and W. M. BLACKLOW, 1988: Identification, distribution and population variability of great brome (*Bromus dianthus* Roth.) and rigid brome *Bromus rigidus* Roth.). Aust. J. Res. **39**, 1039-1050.
- KOUBKOVA, D., 2001: [online] [cit. 2013-9-27]. Sveřepy- rozšíření a problémy. Agronavigátor, <http://www.agronavigator.cz/service.asp?act=email&val=3259>.
- LINTELL, S. G., R. P. FRECKLETON, L. G. FIRBANK and A. R. WATKINSON, 1999. The population dynamics of *Anisantha sterilis* in winter wheat: Comparative demography and the tole of management. Journal of Applied Ecology **36**, 455-471.
- MEYER, S. E. and P. S. ALLEN, 1999: Ecological genetics of seed germination regulation in *Bromus tectorum* II. Reaction norms in response to a water stress gradient imposed during seed maturation. Oecologia **120**, 35-43.
- MICHAEL, B. E. and M. R. KAUFMANN, 1973: The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiol. **51**, 914-916.
- MIKULKA, J. and M. KNEIFELOVÁ, 2005: Plevelné rostliny. Nakladatelství Profi Press, ISBN 80-86726-02-9.
- MIKULKA, J. and M. KNEIFELOVÁ, 2004: Biologie a ekologie sveřepu jalového. Farmář **6**, 22-23.
- MONTE, J. P. and J. DORADO, 2011: Effects of light conditions and after-ripening time on seed dormancy loss of *Bromus dianthus* Roth. Weed Res. **51**, 581-590.
- PETERS, N. C., H. A. ATKINS and P. BRAIN, 2000: Evidence of differences in seed dormancy among populations of *Bromus sterilis*. Weed Res. **40**, 467-478.
- POLLARD, F., 1982: Light induced dormancy in *Bromus sterilis*. J. Appl. Ecol. **19**, 563-568.
- ROBERTS, H. A., 1986: Persistence of some grass species in cultivated soil. Grass Forage Sci. **41**, 273-276.
- TAVILI, A., S. ZARE, S. A. MOOSAVI and A. ENAYATI, 2011: Effect of seed priming on germination characteristic of *Bromus* species under salt and drought conditions. American-Eurasian Journal Agrícola and Enviromental Science **10** (2), 163-168.
- THILL, D. C., K. G. BECK and R. H. CALLIHAN, 1984: The biology of Downy Brome (*Bromus tectorum*). Weed Res. **32** (1), 7-12.
- UPADHYAYA, M. K., R. TURKINGTON and D. MC ILVRIDE, 1986: The biology of Canadian weeds. Can. J. Plant Sci. **66**, 689-709.

Welche Faktoren fördern das Auftreten von *Chenopodium album* auf norddeutschen Maisflächen?

*Which factors support the occurrence of *Chenopodium album* in maize fields in Northern Germany?*

Christoph v. Redwitz* und Bärbel Gerowitt

Phytomedizin, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock
*Korrespondierender Autor, Christoph v. Redwitz, christoph.redwitz@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.019

Zusammenfassung

Der Maisanbau hat in Deutschland in den letzten Jahren immer mehr zugenommen. Unkräutern wird im Mais nur geringe Beachtung geschenkt, weil sie gut zu bekämpfen sind. Probleme mit gut angepassten Unkräutern sind aber zukünftig zu erwarten, wenn Maisanbauhäufigkeit und -intensität weiter zunehmen. Um diese Einflüsse auf Maisunkräuter besser einschätzen zu können, ist es wichtig, mehr über das Aufkommen typischer Unkräuter im Mais zu wissen.

In einer Unkrauterhebung in den Jahren 2011 und 2012 wurden in vier Regionen Norddeutschlands auf 169 Maisflächen Unkrautarten und deren Dichten bestimmt. Angaben über das Management dieser Flächen und die bewirtschaftenden Betriebe wurden erfragt. Eines der am weitesten verbreiteten Unkräuter im Mais ist *Chenopodium album*, das auch zu hohen Ertragsverlusten führen kann. Hier wurden mit einem generalisierten gemischten linearen Modell die Einflussgrößen bestimmt, die das Auftreten von *Chenopodium album* begünstigen. Diese waren die Niederschlagssummen zwischen Aussaat und Bonitur, der Anbau von Mais im Vorjahr, die Ausbringung von Mist, der Gehalt an organischer Substanz im Boden und der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor.

Stichwörter: Gemischtes Modell, GLMM, Management, Norddeutschland, Phosphor, Unkraut

Abstract

The area cultivated with maize in Germany is continuously increasing throughout the last years. Nevertheless weeds in maize get small notice, probably since they are still easy to control. If maize cropping frequency and intensity continue to increase, problems with adapted weeds are likely to occur. To face these effects, it is worthwhile to know more about the appearance of typical maize weeds.

In 2011 and 2012 a weed survey took place in four regions of Northern Germany. Weed species were identified and counted on 169 fields cropped with maize. Data about management of these fields was collected. One of the most wide spread weeds was *Chenopodium album*, which can also cause high yield losses. With a generalized linear mixed model five parameters were identified which influence the emergence of *C. album*: precipitation, cropping maize in the previous year, fertilizing with manure, soil organic matter and plant available phosphorus.

Keywords: Corn, GLMM; mixed model, management, Northern Germany, phosphorus, weed

Einleitung

In den letzten 60 Jahren hat der Anteil von Mais in den Fruchtfolgen immer stärker zugenommen. Inzwischen ist Mais nach Weizen die am meisten angebaute Fruchtart in Deutschland (BMELV, 2012). Dieser Trend wird sich zwar vermutlich abschwächen, der Maisanteil wird aber auf einem sehr hohen Niveau bleiben. In Anbetracht dieser Entwicklung ist es erstaunlich, wie wenig Beachtung die Unkräuter in Mais erhalten. Das liegt wohl vor allen Dingen an ihrer guten Bekämpfbarkeit. Auch so genannte „Problemunkräuter“ wie *Solanum nigrum* oder *Echinochloa crus-galli* (EDER, 2006) sind meist gut zu bekämpfen. Allerdings gibt es Gründe dafür, auch im Mais zukünftig Probleme mit sehr gut angepassten Unkräutern zu erwarten. Diese liegen vor allem im hohen Selektionsdruck durch Herbizide, aber auch allen gleichbleibenden Managementmaßnahmen (Bodenbearbeitung, Düngung, Saat, Ernte) wenn Mais in immer engeren Fruchtfolgen steht. Um mit diesen Entwicklungen umgehen zu können, ist es notwendig mehr über das Auftreten von Unkräutern auf Maisflächen zu erfahren: Mehr über die Vergesellschaftung der Arten, aber auch über einzelne Arten im Speziellen.

In den Jahren 2000 bis 2005 wurde von MEHRTENS (2005) ein deutschlandweites Maismonitoring durchgeführt. Hier wurden – vor allem in den für ihren Maisanbau bekannten Gebieten – Spritzfenster auf Maisflächen angelegt und die Unkrautarten sowie ihre Dichten aufgenommen. *Chenopodium album* war dabei das am weitesten verbreitete Unkraut. Von dieser Art ist bekannt, dass sie zu hohen Ertragsverlusten im Mais führen kann (FISCHER *et al.*, 2004). Dabei ist vor allem ihr relatives Auflaufen zum Mais ausschlaggebend (SARABI *et al.*, 2013).

Daher soll hier untersucht werden, welche Einflüsse das Vorkommen in Häufigkeit und vor allem in Dichten von *C. album* auf Maisflächen erklären können.

Material und Methoden

In den Jahren 2011 und 2012 wurde in den norddeutschen Regionen „Diepholz“, „Uelzen“, „Fläming“ und „Oder-Spree“ eine Unkrauterhebung auf Maisflächen durchgeführt. Diese Regionen sind Teil des Projektes „Nachhaltiges Landmanagement im norddeutschen Tiefland“ (NALAMA-NT, 2013). Sie liegen auf einem klimatischen Gradienten von West nach Ost und umfassen Gebiete in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg und sind zwischen 1500 und 2200 km² groß. Die Flächenwahl wurde pragmatisch gelöst: über projektinterne Kontakte und Berater wurden landwirtschaftliche Betriebe erfragt. Die einzige Aufgabe war es, ein Fenster von ~100 m² anzulegen, in dem keine Unkrautbekämpfung durchgeführt wird. Diese Fenster sollten weder im Randbereich des Schlages noch auf dem Vorgewende angelegt werden.

In diesen herbizidfreien Fenstern wurden alle Unkräuter auf insgesamt einem Quadratmeter (10 * 0,1 m²) gezählt und bestimmt. Zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphorgehalts und des Gehalts an organischer Substanz wurden außerdem Mischproben aus den oberen 30 cm des Bodens (20 Einstiche mit einem Bohrstock von 2 cm Durchmesser) im Spritzfenster genommen. Die Untersuchung fand im Zeitfenster bis max. 10 Wochen, möglichst aber 4 bis 6 Wochen nach der Aussaat statt. Managementdaten dieser Flächen wurden - ergänzt durch einige allgemeine Betriebsdaten - mit einem Fragebogen, der an die Betriebe versandt wurde, erhoben. Darüber hinaus konnten Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2013) genutzt werden.

Von allen gesammelten Größen wurden diejenigen ausgewählt, von denen auf Grundlage von Literatur (z. B. LEBLANC *et al.*, 2002; LEHOCZKY *et al.*, 2003) und plausiblen Überlegungen ein Einfluss auf *C. album* vermutet wurde. Die Erhebungsgüte dieser 17 Parameter unterscheidet sich (Tab. 1). Während der pflanzenverfügbare Phosphor und der Gehalt organischer Substanz sehr genau, d.h. als g/100g Boden bzw. Prozentwert bestimmt wurden, wurde die Düngung nur sehr grob mit „ja“ und „nein“ betrachtet. Das lag vor allen Dingen daran, dass die Fragebögen zur Erfassung von Managementdaten einfach gehalten wurden, um ihre Rücklaufquote zu erhöhen. Es wurden also keine Düngermengen abgefragt, sondern nur die eingesetzten Düngerquellen. Der etwas ungewöhnliche Parameter „Maisanbaustufe“ bildet in vier Kategorien ab, vor wie vielen Jahren das erste Mal Mais auf der Fläche stand.

Durch die Erhebungsmethode (großes Aufnahmegebiet mit einem Klimagradienten, Praxisschläge – keine Versuche, unterschiedliche strukturelle Bedingungen in Brandenburg und Niedersachsen) entstanden mit einem großen statistischen „Rauschen“ behaftete Daten. Dieses „Rauschen“ sorgt dafür, dass die abhängige Variable eines statistischen Modells scheinbar willkürliche Werte annimmt. Die Ursache kann in fehlenden Parametern liegen oder auch darin, dass bestimmte Effekte nur die Varianz aber nicht die Höhe der Variablen beeinflussen. Untersuchungen auf Artenebene gestalten sich daher schwierig. Eine Möglichkeit diesem Umstand zu begegnen, ist der Einsatz von gemischten Modellen.

In (generalisierten) gemischten Modellen werden Parameter, die Rauschen verursachen, als „Zufallseffekte“ behandelt und von direkten, „festen“ Effekten (diese beeinflussen auch den Intercept) getrennt. So können vorhandene Trends klarer in Erscheinung treten. Daher wurde hier auf die Methode der gemischten Modelle zurückgegriffen.

Zur Modellbildung wurden die in Tabelle 1 gelisteten Parameter genutzt. Da einige Kombinationen von diesen Parametern spezielles Interesse wecken, wurden diese explizit in das Modell als Interaktion aufgenommen: Ist es wichtig, ob die Temperatur und der Niederschlag gemeinsam reagieren (SB_mitT:SB_N)? Wird der Maisanbau in den vergangenen zwei Jahren erst durch den Pflugeinsatz relevant (Pflug:Maisanbau_vor_01, und Pflug:Maisanbau_vor_02)? Ist es speziell wichtig ob, in beiden vergangenen Jahren Mais angebaut wurde (Maisanbau_vor_02:Maisanbau_vor_01)?

Mit „Region“ und „Betrieb in Region“ als Zufallseffekte sollen einige der Gründe für das Rauschen in den Daten abgedeckt werden.

Da eine „Overdispersion“ vorlag, wurde eine Quasi-Poissonverteilung angenommen. Die Modelvereinfachung geschah durch „Backwardselection“: Ein Modell mit allen Parametern wurde errechnet. Danach wurde jeder Parameter mittels t-test auf einen signifikanten Modelleinfluss getestet und dann der Parameter mit dem geringsten, nicht signifikanten Einfluss aus dem Modell entfernt. Dieser Vorgang wurde so oft wiederholt, bis nur noch signifikante Einflüsse übrig waren (CRAWLEY, 2007).

Von insgesamt 169 untersuchten Flächen auf 38 Betrieben ergaben sich 167 vollständige Datensätze für das nach Backwardselection gewählte Modell - nur diese wurden untersucht.

Die gesamte statistische Analyse wurde mit R 2.15.2 (R CORE TEAM, 2012) durchgeführt. Für das generalisierte gemischte Modell (GLMM) wurde auf das R-Paket „MASS“ (VENABLES und REPLEY, 2002) zurückgegriffen.

Tab. 1 Name und Einheit aller untersuchter Parameter.

Tab. 1 Name and unit of all used parameter.

Variable	Beschreibung	Einheit
CHEAL	Chenopodium album	Pflanzen / m ²
zeitdiff	Tage zwischen Aussaat und Bonitur	d
P_GEH	Pflanzenverfügbarer Phosphor	Phosphor (g) / 100g Boden
HUMUS	Gehalt an organischer Substanz	%
Sandgehalt	Sandgehalt abgeleitet von der Bodenart	%
Ackerzahl	Bodengüte	-
PFLQM	Aussaatstärke von Mais	Pflanzen / m ²
Duengung_Mist	Misteinsatz	ja/nein
Duengung_Guelle	Gülleinsatz	ja/nein
Duengung_mineralisch	Einsatz von mineralischem Dünger	ja/nein
Pflug	Pflugeinsatz	ja/nein
PS_vorauflauf	wurde vor dem Auflaufen von Mais Pflanzenschutz betrieben	ja/nein
Maisanbaustufe	vor wievielen Jahren stand zum ersten mal Mais auf der Fläche	0/1, 2-6, 7-12, >12
Maisanbau_vor_01	wurde letztes Jahr Mais angebaut	ja/nein
Maisanbau_vor_02	wurde vorletztes Jahr Mais angebaut	ja/nein
Bewaesserung	Bewässerung	mm
SB_N	Niederschlagssumme von Aussaat bis Bonitur	mm
SB_mitT	mittlere Tagestemperatur zwischen Aussaat und Bonitur	C°

Ergebnisse

Das Auftreten von *C. album* in den Spritzfenstern schwankte zwischen 0 und 1602 Pfl./m². Die mittlere Dichte lag bei 67 Pfl./m². Über die Regionen betrachtet tritt eine gewisse Schwankung auf (Abb. 1). Das Auftreten von *C. album* in den einzelnen Betrieben variiert stärker (Daten sind nicht abgebildet).

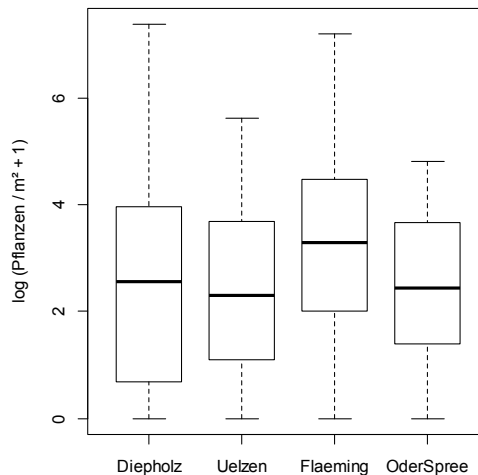


Abb. 1 Auftreten von *C. album* über die Regionen.

Fig. 1 Occurrence of *C. album* in the regions.

Das „beste Modell“ enthielt nach „Backwardselection“ noch fünf Parameter: Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor, Gehalt organischer Substanz, Düngung mit Mist, der Maisanbau im Vorjahr und die Niederschlagssumme zwischen der Aussaat und der Bonitur. Die Zufallseffekte waren gesetzt und nicht Teil der Modellvereinfachung.

Tab. 2 Werte des generalisierten gemischten Modells.

Tab. 2 Values of the generalized mixed effect model.

Variable	Wert	Std. Fehler	FG	t-Wert	p-Wert
(Intercept)	1.08	0.55	124	1.95	0.05
pflanzenverfügbarer Phosphor	0.07	0.03	124	2.73	0.01
Gehalt organischer Substanz	0.11	0.02	124	4.63	0.00
Misteinsatz „ja“	0.76	0.27	124	2.77	0.01
Wurde letztes Jahr Mais angebaut „ja“	0.64	0.27	124	2.40	0.02
Niederschlagssumme von Aussaat bis Bonitur	1.18	0.27	124	4.37	0.00

Die Zufallseffekte haben Größen von 0,46 („Region“) und 0,67 („Betrieb in Region“). Die Residuen liegen bei 10,30. Alle festen Effekte, die in das Modell eingehen, haben einen positiven Einfluss auf das Auftreten von *C. album* (Tab.2). Der Größte unter ihnen ist der Wetterparameter Niederschlagssumme mit 1,18. Danach folgen zwei Managementparameter: Misteinsatz (0,76) und Maisanbau im letzten Jahr (0,64). Die Bodenparameter Gehalt an organischer Substanz (0,11) und pflanzenverfügbaren Phosphor (0,07) haben die geringsten Werte.

Um die relative Bedeutung der gewählten Zufallseffekte besser beurteilen zu können, wurde ein alternatives Modell getestet, in dem nur die Zufallseffekte durch „Jahr“ und „Betrieb in Jahr“ ersetzt wurden, die festen Effekte aber beibehalten wurden. Die Einflussgrößen der festen Modellparameter änderten sich kaum, die Werte der Zufallsvariablen waren 0,00 für das „Jahr“ und 0,82 für „Betrieb in Jahr“ bei 9,45 Residuen.

Diskussion

Die durchgeführte Erhebung von Unkräutern auf herbizidfreien Flächen in Praxis schlägen liefert eine Art Daten, die meistens mit Hilfe multivariater Verfahren ausgewertet werden. Auch der vorliegende Datensatz wurde mit dem Vorkommen aller Unkrautarten bereits derartigen Auswertungen unterzogen (v. REDWITZ und GEROWITT, 2013). Dabei konnte gezeigt werden, dass zwei Arten den Datensatz hinsichtlich Präsenz und Aufkommen dominieren: *C. album* und *Echinochloa crus-galli*. Dieses starke mengenmäßige Aufkommen ermöglicht es, die artspezifischen Daten auch mit univariaten Ansätzen, wie z. B. gemischten linearen Modellen zu untersuchen.

Für diesen Beitrag wurde *C. album* ausgewählt. Faktoren für das Auftreten dieser Art in Mais genauer zu kennen, ist schon allein wegen ihres Schadpotentials eine wichtige Aufgabe (FISCHER *et al.* 2004). Die hier genutzte Herangehensweise ermöglicht es, ein Bild zum Aufkommen von *C. album* auf Maisflächen in Norddeutschland zu zeichnen, das über die Erkenntnisse aus klassischen Feldversuchen hinausgeht.

MEHRTENS (2005) wertete eine bundesweite Unkrauterhebung von Maisflächen mittels deskriptiver, univariater Methoden aus. Das von uns festgestellte Auftreten von *C. album* lässt sich mit dieser Erhebung vergleichen und einordnen. MEHRTENS (2005) fand eine maximale Auftretsstärke von 730 Pfl./m² von *Chenopodium* spp. – der Autor fasste verschiedene Spezies der Gattung *Chenopodium* zusammen. Wir unterschieden alle *Chenopodium*-Pflanzen auf Art-Ebene, trotzdem ist allein die maximale Auftretsstärke von *C. album* mit 1602 Pfl./m² mehr als doppelt so hoch. Auch die mittlere Dichte von *Chenopodium* spp. lag bei MEHRTENS (2005) mit 47,3 Pfl./m² unter der hier vorgefundenen 67 Pfl./m². Diese Unterschiede sind bemerkenswert, da MEHRTENS (2005) mit 2602 Standorte bundesweit eine größere Menge und eine weitere räumliche Verteilung von Flächen einbezog. Extrema im Auftreten von *C. album* sollten daher gut erfasst gewesen sein. Die Flächen lagen allerdings gehäuft in „typischen“ Maisgebieten, die im Südosten oder im Nordwesten von Deutschland anzutreffen sind. In anderen Gebieten, wie z. B. dem Nordosten Deutschlands befanden sich deutlich weniger Aufnahme Flächen. Obwohl die Probenahme also nicht ohne Einschränkungen zu vergleichen ist, können die hier präsentierten Werte im Vergleich zu MEHRTENS (2005) auch auf steigende Tendenzen der Dichten von *C. album* in Maisflächen hinweisen.

Das hier abgebildete Modell beschreibt das Vorkommen von *C. album* unter Ausschluss des Einflusses durch Region und den Betrieben in den Regionen. Beim Vergleich mit dem alternativen Modell, das das Jahr statt der Region als Zufallseffekt enthielt, fiel auf, dass die Betriebe im Jahr einen größeren Effekt enthielten als die Betriebe in den Regionen: Die individuellen Begebenheiten der Betriebe im Jahr sorgen für mehr Unterschiede im Auflaufen von *C. album*, als die Regionen mit ihren klimatischen Gradienten und sonstigen strukturellen Unterschieden. Bei der Höhe der Residuen leidet Modelle im Vergleich mit der Höhe der Zufallseffekte wird klar, dass ein großer Teil des „Rauschens“ noch nicht abgebildet ist. Wesentliche Zufallseffekte in den Modellen sind mit den genutzten Variablen noch nicht identifiziert bzw. zugeordnet.

Von den signifikanten festen Effekten (Tab. 2) hat die Niederschlagssumme mit Abstand den größten Einfluss. Nach ELLENBERG *et al.* (1992) ist *C. album* mit einer Feuchtezahl von 4 aber eher eine Pflanze von mäßig trockenen Flächen. LEBLANC *et al.* (2004) konnte mit dem Sandanteil und der Luft- und Bodentemperatur das Auflaufen von *C. album* sehr gut vorhersagen. Interessanterweise ist hier dagegen die Temperatur nicht relevant und auch die Interaktion zwischen Temperatur und Niederschlag wurde nicht in das Modell aufgenommen. *C. album* scheint unabhängig von der Temperatur mit steigenden Niederschlägen stärker aufzulaufen. Die beiden Parameter des Managements „Misteinsatz“ und „Maisanbau im letzten Jahr“ haben in etwa die gleiche Einflusshöhe. Es war nicht wichtig, ob der Maisanbau im letzten Jahr mit Pflugeinsatz kombiniert wurde. Wesentlich war vor allem, dass im vorhergehenden Jahr ähnliche Anbaubedingungen (Mais) herrschten. Obwohl prinzipiell der Pflug den Unkrautbesatz senkt, kommt *C. album* doch relativ gut damit zurecht (LEHOCZKY *et al.*, 2013), so dass der Pflugeinsatz nicht in das Modell aufgenommen wurde. Die Kombination von großen persistenten Samenbanken, die die Art aufbaut (HANF, 1990; RAHMAN *et al.*, 2006) und ihr weitverbreitetes Auftreten auf Ackerflächen könnte der Grund hierfür sein. Der positive Einfluss von Mistdüngung auf *C. album* wurde auch in Versuchen von CIUBERKIS *et al.* (2006) gefunden. Die Bodenparameter Gehalt organischer Substanz und pflanzenverfügbarer Phosphor bleiben signifikant im Modell, obwohl ihre Einflusshöhe deutlich geringer als die der übrigen Parameter ist. Wie der leicht positive Einfluss des Gehalts organischer Substanz zeigt, fördern humose oder moorige Böden *C. album*. In einem Versuch beeinflusste Phosphor *C. album* im Vergleich zu anderen Unkräutern stark (ANDREASEN *et al.*, 2006). Das hier auf Basis von Praxis schlägen aufgestellte Modell zeigt, dass sich dieser Einfluss auch auf Feldern messen lässt.

Insgesamt ermittelt das hier erstellte Modell einige aus Versuchen bekannte Einflüsse für das Aufkommen von *C. album* auch mit Daten, die auf Praxis-Feldern ermittelt wurden. Andere Einflussgrößen, wie die Temperatur oder der Sandgehalt scheinen in der „Natur“ für *C. album* weniger Bedeutung zu haben, als es Versuche vermuten lassen.

Literatur

- ANDREASEN, C., A.-S. LITZ und J. C. STREIBIG, 2006: Growth response of six weed species and spring barley (*Hordeum vulgare*) to increasing levels of nitrogen and phosphorus. *Weed Res.* **46** (6), 503-512.
- BMELV, 2012: Kap. C Landwirtschaft: 98 Anbau, Ertrag und Ernte der Feldfrüchte, Statistisches Bundesamt, BMELV (123).
- CIUBERKIS, S., S. BERNOTAS und S. RAUDONIUS, 2006: Long-term manuring effect on weed flora in acid and limed soils. *Acta Agric. Scand. Sect B: Soil and Plant Science* **56** (2), 96-100.
- CRAWLEY, J. C., 2007: *The R Book*, England, John Wiley and Sons Ltd., 614.
- DWD, 2013: Deutscher Wetterdienst, URL <http://www.dwd.de>
- EDER, J., 2006: Getreide- und Maisanbau: Mais, Kap. 11.9, 510-546.
- ELLENBERG, H., H. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNE und D. PAULIBEN, 1992: *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Verlag Erich Goltze.
- FISCHER, D. W., R. G. HARVEY, T. T. BAUMAN, S. PHILLIPS, S. E. HART, G. A. JOHNSON, J. J. KELLS, P. WESTRA und J. LINDQUIST, 2004: Common lambsquarters (*Chenopodium album*) interference with corn across the northcentral United States. *Weed Sci.* **52** (6), 1034-1038.
- HANF, M., 1990: *Ackerunkräuter Europas*. Verlagsunion Agrar, 202.
- LEBLANC, M. L., D. C. CLOUTIER und C. HAMEL, 2002: Effect of water on common lambsquarters (*Chenopodium album* L.) and barnyardgrass [*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.] seedling emergence in corn. *Can. J. Plant Sci.* **82** (4), 855-859.
- LEBLANC, M. L., D. C. CLOUTIER, K. A. STEWART und C. HAMEL, 2004: Calibration and validation of a common lambsquarters (*Chenopodium album*) seedling emergence model. *Weed Sci.* **52** (1), 61-66.
- LEHOCZKY, É., A. KISMÁNYOKY und T. NÉMETH, 2013: Effects of Nutrient Supply and Soil Tillage on the Weeds in Maize. *Commun. Soil Sci. Plan.* **44** (1-4), 546-550.
- MEHRTENS, J., 2005: *Räumliche und zeitliche Verteilung von Unkräutern in Mais*. Beuren, Verlag Ulrich E. Grauer, 211.
- NALAMA-NT, 2013: Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland, URL <http://www.nalama-nt.de/>
- RAHMAN, A., T. K. JAMES und N. GRBACAVAC, 2006: Correlation between the soil seed bank and weed populations in maize fields. *Weed Biol. Manag.* **6** (4), 228-234.
- R CORE TEAM, 2012: *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

26th German Conference on weed Biology and Weed Control, March 11-13, 2014, Braunschweig, Germany

REDWITZ, V. C. und B. GEROWITT, 2013: Weed species composition in maize fields of Northern Germany. Proc. 16th Symp. European Weed Research Society, Samsun, Turkey, 108. SARABI, V., M. N. MAHALLATI, A. NEZAMI und M.H. R. MOHASSEL, 2013: Effects of common lambsquarters (*Chenopodium album* L.) emergence time and density on growth and competition of maize (*Zea mays* L.). Aust. J. Crop Sci. Australian Journal of Crop Science **7** (5), pp. 532-537.

VENABLES, W. N. und B. D. RIPLEY, 2002: Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York.

Dynamik der Verunkrautung mit *Senecio vulgaris* nach einem einmaligen Sameneintrag

Dynamics of the weed infestation with Senecio vulgaris after a single entry from seeds

Hans-Peter Söchting* und Peter Zwerger

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12,
38104 Braunschweig, Deutschland

*Korrespondierender Autor, hans-peter.soechting@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.020

Zusammenfassung

Aufgrund einer kurzen Generationszeit verbunden mit einem hohen Samenbildungsvermögen sowie einer zügigen und über das gesamte Jahr möglichen Keimung ist das Gemeine Kreuzkraut (*Senecio vulgaris*) besonders in gärtnerischen Kulturen eine der wichtigsten Unkraut-Arten. Wie alle Kreuzkraut-Arten enthält *Senecio vulgaris* Pyrrolizidinalkaloide, die in der Leber zu gesundheitsschädlichen Substanzen umgewandelt werden. Aus diesem Grund sollte ein versehentlicher Verzehr dieser Art komplett unterbleiben. Zu den Korbblütlern gehörig ist die Pflanzenart im Gemüseanbau und speziell in Salatkulturen mit Herbiziden nur schwierig zu bekämpfen.

Anhand eines Modellversuches im Freiland wurden das Auflaufverhalten und die Entwicklung von *Senecio vulgaris* in Schnittsalaten untersucht. Als erster Schritt erfolgte die Einbringung von Kreuzkraut-Samen in die Versuchspartellen. Dazu wurden *Senecio vulgaris*-Pflanzen in drei unterschiedlichen Pflanzdichten (1, 2 und 10 Pflanzen je m²) in die dafür vorgesehenen Partellen gepflanzt. Alle Partellen wurden mit Vlies abgedeckt, um eine unregelmäßige Verteilung der Samen über die Partellen zu vermeiden. Nach Samenreife der Pflanzen wurde das Vlies entfernt, die Pflanzen abgeschnitten und das Pflanzenmaterial inklusive der Samen in den Boden eingearbeitet. Anschließend wurden über mehrere Anbausätze Schnittsalate (Rucola, Asia Green, Spinat, Feldsalat) in die Partellen eingesät und im Weiteren der Auflauf von *Senecio vulgaris* und die damit einhergehende mögliche Kontaminierung der Blattsalate festgehalten. Ab dem Zeitpunkt der Vliesabnahme wurde sehr genau darauf geachtet, dass keine Kreuzkrautpflanzen mehr zur Samenreife kamen, um einen neuerlichen Sameneintrag zu verhindern. Ein Eintrag von außen konnte ausgeschlossen werden.

Wurden nach der ersten Einsaat der Schnittsalate je nach Variante noch 71, 55 und 216 *Senecio*-Pflanzen/m² gezählt, waren es nach der sechsten Einsaat nur noch sieben sowie neun und 16 Pflanzen/m². Es zeigte sich, dass die Abnahme des Samenpotentials im Boden zügig erfolgt, aber auch nach mehreren Anbaudurchgängen noch mit einem Auflauf der Kreuzkrautpflanzen und damit einer möglichen Kontamination der Salaternte zu rechnen ist. Der Versuch soll solange fortgeführt werden, bis praktisch kein Auflauf von *Senecio vulgaris* mehr festzustellen ist.

Stichwörter: Gemüsebau, Populationsdynamik, Salat, Samenpersistenz, Unkrautbekämpfung

Abstract

Due to a short generation time associated with a high seed production and a quick germination, which is possible throughout the year, *Senecio vulgaris* is especially in horticultural crops one of the most important weed species. Like all ragwort species, also *Senecio vulgaris* contains pyrrolizidine alkaloids which are converted in the liver to harmful substances. For this reason an accidental consumption of this species should be avoided completely. Belonging to the Compositae, chemical control of this weed species in vegetable crops, particularly in lettuce, is difficult.

Based on a field-grown model experiment the emergence behavior and growth of *Senecio vulgaris* in leafy lettuce was studied. The first step was the contamination of the trial plots with *Senecio* seeds. For this purpose *Senecio* plants were planted at three different densities (1, 2 and 10 plants m²) in the designated plots. All plots were covered with fleece in order to prevent an unregulated dispersal of seeds. After seed maturity the fleece was removed, plants were cut into small pieces and the plant material including the seeds was incorporated into the soil. Then different leafy lettuces crops (rocket, asia green, spinach, lamb's lettuce) were cultivated in a six-crop sequence over two years (three crop species per year). The development of *Senecio vulgaris* and the resulting possible contamination of the lettuces with *Senecio* leaves was recorded. From the date of removing the fleece on seed-production a shedding of *Senecio* plants was prevented to avoid further contamination. Also the entry from outside the plots was excluded.

Depending on the initial plant density, the 71, 55 and 216 *Senecio* plants m² which emerged after the first sowing of lettuce dropped to 7, 9 and 16 plants m² after the sixth sowing. Thus, the density of *S. vulgaris* plants rapidly decreased but there was still a significant potential of emerging seedlings potentially contaminating the lettuce crops after six rotations. The trial will be continued until no germination of *S. vulgaris* plants occurs anymore.

Keywords: Population dynamics, salad, seed persistence, vegetables, weed control

Einleitung

Das Gemeine Kreuzkraut ist weltweit verbreitet und tritt in Deutschland häufig auf. Es wächst vor allem auf trockenen, stickstoffreichen Stellen in Gärten, Weinbergen, Äckern und Gemüsegeldern (KÄSTNER *et al.*, 2001). Es gehört zur Familie der Korbblütler und kann schon nach fünf Wochen reife Samen produzieren (LEISS und MÜLLER-SCHÄRER, 2001). Dieses ist in einigen Regionen Deutschlands schon während eines Anbauzyklus von Kopfsalat möglich. Da in Salatkulturen *Senecio vulgaris* oft nicht ausreichend bekämpft wird, trägt diese Kultur vermutlich besonders stark zur Verbreitung dieses Unkrautes bei. Nach Ellenberg ist *Senecio vulgaris* eine Halblichtpflanze, die nicht unbedingt das volle Sonnenlicht benötigt und sich auch noch im Halbschatten gut entwickeln kann (ELLENBERG *et al.* 1992). In Deutschland sind beim Kreuzkraut drei bis vier Generationen im Jahr möglich. Im Frühjahr beginnt die Keimung, wenn der Boden wärmer als 10 Grad ist (KÄSTNER *et al.*, 2001). Mit der Samenreife sind die Samen von *Senecio vulgaris* sofort keimfähig, wobei die Überlebensfähigkeit der Samen unter Feldbedingungen rasch abnimmt (ROBINSON *et al.* 2003). Alleinstehende Pflanzen brachten in einer Untersuchung 8000 bis 12000 Samen pro Pflanze (LUTMAN *et al.*, 2008). Es ist somit bei vier Generationen pro Jahr ausreichend, dass pro Pflanze nur 100 Samen überleben müssen, um pro Jahr 1 Mio. Nachkommen zu produzieren. Gemeines Kreuzkraut kann direkt nach der Samenreife keimen (ROBERTS, 1982). Halbreife Samen können auch auf gejäteten oder geschlegelten Pflanzen noch voll ausreifen. Keimungsversuche zeigten ein nahezu 100 %-iges Auflaufen bei frischen Samen (FIGUEROA, 2003). *Senecio vulgaris* ist ein Lichtkeimer (HILTON, 1983), wobei die Samen bis zu einer Bodentiefe von 4 cm keimen können. Wechseltemperatur, Licht und Kältereize regen die Keimung an (REN und ABBOTT, 1991). Keimanregend wirkt in wärmeren Perioden auch ein Regen oder generell eine Bodenbearbeitung. Eine wichtige Strategie bei der Bekämpfung ist es, die Samenbildung zu vermeiden. Mehrfach wurde in den letzten Jahren *Senecio vulgaris* in Rucola bzw. Schnittsalaten nachgewiesen. Bereits 2007 hat das Bundesamt für Risikobewertung in einer umfangreichen Stellungnahme auf das Risiko durch den versehentlichen Verzehr von *Senecio vulgaris* hingewiesen (BfR, 2007). Im Jahr 2009 kam es nach einem Kreuzkrautfund in einer Rucolapackung zu einem großflächigen Umbruch von Rucola-Flächen, da diese Salate aus dem Sortiment genommen wurden und die Ernten nicht mehr abgesetzt werden konnten. Aufgrund dieses Hintergrundes wurde im Jahr 2012 am JKI in Braunschweig ein Versuch angelegt, in dem die Populationsdynamik von *Senecio vulgaris* nach einem einmaligen Sameneintrag in danach angebauten Schnittsalaten untersucht wurde.

Material und Methoden

Die Versuchsanlage liegt auf dem Gelände des JKI in Braunschweig. Dabei wurde der Versuch in einer von einem Betonrahmen umgebenen Fläche durchgeführt, die in 2 m² große Parzellen unterteilt war und vor Versuchsbeginn gedämpft wurde damit keine keimfähigen Unkrautsamen mehr im Boden vorhanden waren. Sämtliche durchgeführte Arbeiten wurden von Hand verrichtet. Als erster Schritt in der Versuchsdurchführung wurden *Senecio vulgaris*-Pflanzen in gleichmäßigen Abständen in drei unterschiedlichen Pflanz- oder Ausgangsbesatzdichten (1, 2 und 10 Pflanzen/m²) in die dafür vorgesehenen Parzellen gepflanzt. Jede Parzelle für sich wurde tunnelartig mit 19 g/m² Ernte-Verfrühungsvlies abgedeckt, um eine spätere unregelmäßige Ausbreitung der Samen über die Gesamtfläche zu verhindern. Nach der Samenreife der Pflanzen wurde das Vlies entfernt und die Pflanzen an Ort und Stelle ab- und zerschnitten. Im Anschluss wurde das Pflanzenmaterial inklusive der Samen mit einem Spaten in den Boden eingearbeitet (max. 10 cm). Anschließend wurde über den gesamten Versuchszeitraum keine wendende

Bodenbearbeitung mehr durchgeführt, sondern es erfolgte immer nur ein flaches Bearbeiten der oberen Bodenschicht. Dieses Vorgehen entspricht sicherlich nicht der Praxis, allerdings sollten im Versuch „worst case“ Bedingungen geschaffen werden. Nach der Einarbeitung der *Senecio*-Pflanzen wurde jeglicher Sameneintrag dieser Art von außen unterbunden. Weiterhin wurde ab dem Zeitpunkt der Vliesabnahme sehr genau darauf geachtet, dass keine Kreuzkrautpflanzen zur Samenreife kamen, um einen neuerlichen Sameneintrag zu vermeiden.

Nachfolgend wurden über mehrere Anbausätze Schnittsalate (Rucola, Asia-Green, Spinat, Feldsalat) in die Parzellen eingesät (Tab. 1 und Tab. 2).

Tab. 1 Angebaute Schnittsalate.

Tab. 1 *Used leafy lettuce.*

Artbezeichnung	Sorte	Aussaatzstärke	Reihenabstand	
Asia Green- Mizuna	<i>Brassica rapa</i> Var. <i>Japonica</i>	Mandovi	7 kg/ha	20 cm
Feldsalat	<i>Valerianella locusta</i>	Granon	5 Mio. Korn/ha	20 cm
Rucola	<i>Eruca sativa</i> Mill.	Salatrauke	10 kg/ha	20 cm
Spinat	<i>Spinacacia</i> <i>oleracea</i>	Tornado F1	3 Mio. Korn/ha	20 cm

Tab. 2 Aussaat und Ernte der Schnittsalate.

Tab. 2 *Sowing and harvest of the leafy lettuces.*

Aussaattermin	Kultur I	Kultur II	Ernte	
1. Anbausatz	29.06.2012	Rucola	Asia Green	18.07.2012
2. Anbausatz	02.08.2012	Asia Green	Rucola	23.08.2012
3. Anbausatz	04.09.2012	Rucola	Asia Green	09.10.2012
4. Anbausatz	18.04.2013	Feldsalat	Spinat	21.05.2013
5. Anbausatz	25.06.2013	Rucola	Asia Green	15.07.2013
6. Anbausatz	31.07.2013	Asia Green	Rucola	29.08.2013

Die Versuchsanlage war so angelegt worden, dass jede der drei *Senecio*-Ausgangsbesatzdichten in vier Parzellen (Parzelle = Wiederholung) vorkam. Jede dieser vier Parzellen wiederum wurde nochmals unterteilt, indem sie mit zwei verschiedenen Salatarten (Kultur I und Kultur II, siehe Tab. 2) bestellt wurden. Für die weitere Versuchsauswertung wurden die Werte beider Salatarten innerhalb einer Parzelle zusammengefasst, da die Unterschiede zwischen den beiden Salatarten nur gering waren.

In jeder Parzelle wurden vierzehn Reihen (sieben Reihen je Salatart) auf einer Länge von jeweils einem Meter ausgesät.

Vor jeder Aussaat des nächsten Anbausatzes wurden die Parzellen geharkt und Reihen vorgezogen, in die das Saatgut abgelegt wurde. Hervorzuheben ist, dass bei jedem Arbeitsschritt die Bearbeitung immer nur parzellenweise durchgeführt wurde, damit keine Samenverschleppung von einer auf die nächste Parzelle erfolgen konnte.

Die Dichteermittlungen der *Senecio*-Pflanzen erfolgten anhand einer Bonitur mit einem Göttinger-Zählrahmen unmittelbar vor der Ernte der Salatpflanzen jedes Anbausatzes. So wurden in jeder Parzelle sechs Zählungen durchgeführt, wobei immer eine Salatreihe mit im Zählrahmen integriert war. Zusätzlich wurde während der Ernte der Besatz innerhalb der Salatreihen (von Reihenmitte 2,5 cm zu jeder Seite) ermittelt. In den Salatreihen erfolgte durch das Reihenziehen und die Aussaat eine zusätzliche Bodenbewegung, so das nicht ausgeschlossen werden konnte, dass hier

auf den m² umgerechnet mehr *Senecio*-Pflanzen aufliefen als zwischen den Reihen, da die Keimung von *Senecio*-Samen durch jede Bodenbearbeitung gefördert wird.

Zum Erntetermin variierte das Entwicklungsstadium der *Senecio*-Pflanzen sehr stark. Es reichte vom Keimblattstadium bis BBCH 51 (Blütenanlagen sichtbar) und wurde für die weitere Versuchsauswertung nicht weiter berücksichtigt.

Die Aussaat der Salate fand je nach Witterung mehr oder weniger zügig nach der Ernte des jeweilig letzten Anbausatzes statt, wobei die letzte Aussaat im Jahr 2012 am 04.09. und die erste Aussaat im Jahr 2013 am 18.04. erfolgte.

Um festzustellen, ob die verschiedenen Pflanzdichten (1, 2 und 10 Pflanzen/m²) über die Anbausätze hinweg zu unterschiedlichen Auflaufdichten führen, wurde die Anzahl der aufgelaufenen *Senecio*-Pflanzen mittels Varianzanalyse und anschließenden Tukey-Test $\alpha = 0,05$ verrechnet.

Zur Kalkulation einer durchschnittlichen Verlustrate der *Senecio*-Samen wurden zunächst die aufgelaufenen Pflanzen variantenweise aufsummiert und dieser Summenwert für eine anschließende Regressionsrechnung verwendet, wobei eine Exponentialfunktion angepasst wurde (Excel).

Ergebnisse

Der Unkrautbesatz nahm über den Betrachtungszeitraum von 2012 bis 2013 insgesamt deutlich ab (Tab. 3). Die Bonituren während des ersten Anbausatzes ergaben die höchsten *Senecio*-Dichten. In der Variante mit der höchsten Ausgangsbesatzdichte wurden dabei mit 217 Pflanzen/m² rund drei- bis viermal mehr Pflanzen gezählt als in den beiden anderen Varianten. Über den gesamten Beobachtungszeitraum blieb zwischen den Varianten zwar ein Dichteunterschied erhalten, jedoch nähern sich die Auflaufzahlen nach dem sechsten Anbausatz mit sieben, neun und 16 Pflanzen/m² an. Die Ausgangsbesatzdichten mit einer und zwei *Senecio*-Pflanzen/m² unterscheiden sich insgesamt relativ wenig voneinander. Dabei waren innerhalb einer Variante große Streuungen festzustellen, sodass zwischen den Varianten kaum signifikante Unterschiede zu ermitteln waren.

Bei allen Varianten zeigte sich nach dem Winter, also zur Bonitur des vierten Anbausatzes, wieder ein Anstieg der *Senecio*-Dichten gegenüber dem letzten Anbausatz vor dem Winter.

Die Aufsummierung aller aufgelaufenen Pflanzen im Beobachtungszeitraum ergibt für die drei Ausgangsbesatzdichten Werte von 117, 104 und 447 Pflanzen/m². Werden diese Summenwerte als Grundlage für eine Regressionsrechnung verwendet, kommt man zu den in Abbildung 1 und Tabelle 4 dargestellten Verläufen und Funktionsgleichungen. Dabei wurden durchschnittliche Verlustraten pro Anbausatz von 0,36 bis 0,49 ermittelt.

Neben der Pflanzenzählung mit dem Göttinger Zählrahmen erfolgte eine Zählung der Kreuzkrautpflanzen innerhalb der Salatreihen während der Ernte (Tab. 5). Dabei wird deutlich, dass teilweise eine große Anzahl an Kreuzkrautpflanzen innerhalb einer Salatreihe aufwachsen konnte.

Tab. 3 Anzahl der *Senecio*-Pflanzen/m² in Abhängigkeit von der Ausgangsbesatzdichte. Ungleiche Buchstaben innerhalb eines Anbausatzes kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Ausgangsbesatzdichten ($\alpha = 0,05$).

Tab. 3 Number of *Senecio*-plants m² as a function of the initial density. Not identical letters within a cultivation indicates significant differences between the initial densities ($\alpha = 0.05$).

	Ausgangsbesatzdichte <i>Senecio</i> -Pflanzen/m ²		
	1	2	10
1. Anbausatz	71 a	55 a	217 b
2. Anbausatz	6 a	8 a	97 b
3. Anbausatz	4 a	3 a	18 a
4. Anbausatz	17 a	19 a	60 a
5. Anbausatz	12 a	10 a	39 a
6. Anbausatz	7 a	9 a	16 a

Tab. 4 Abnahme der *Senecio*-Pflanzen/m² in Abhängigkeit von der Ausgangsbesatzdichte über die Anbausätze.

Tab. 4 Number of *Senecio* plants m² as a function of the initial density throughout the individual cultivations.

Ausgangsbesatzdichte	Exponentialfunktion	Bestimmtheitsmaß R ²
1 Pfl./m ²	$Y = 78,783e-0,399x$	0,4529
2 Pfl./m ²	$Y = 64,7e-0,355x$	0,414
10 Pfl./m ²	$Y = 489,01e-0,494x$	0,751

Tab. 5 Anzahl der *Senecio*-Pflanzen je laufendem Meter in der Reihe. Ungleiche Buchstaben innerhalb eines Anbausatzes kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Ausgangsbesatzdichten ($\alpha = 0,05$).

Tab. 5 Number of *Senecio* plants per meter in the row. Dissimilar letters within cultivation indicates significant differences between the initial densities ($\alpha = 0.05$).

	Ausgangsbesatzdichte <i>Senecio</i> -Pflanzen/m ²		
	1	2	10
1. Anbausatz	143 a	107 a	317 b
2. Anbausatz	5 a	8 a	70 b
3. Anbausatz	9 a	5 a	29 a
4. Anbausatz	16 a	15 a	59 a
5. Anbausatz	11 a	6 a	34 a
6. Anbausatz	7 a	8 a	22 a

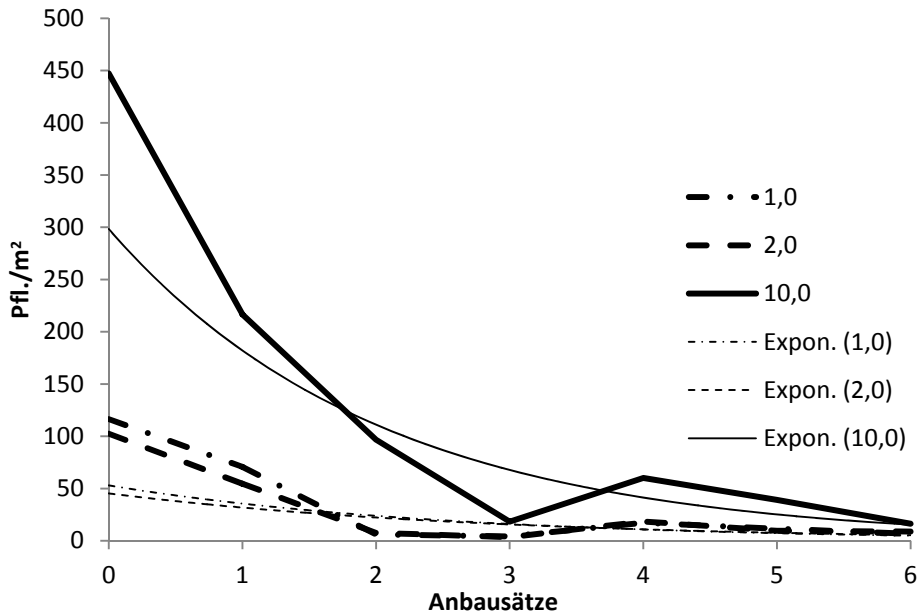


Abb. 1 Auflaufdichte (Pflanzen/m²) von *Senecio vulgaris* in Abhängigkeit unterschiedlicher Ausgangsbesatzdichten (1, 2 oder 10 Pflanzen/m²).

Fig. 1 Density (plants m²) of *Senecio vulgaris* as a function of different initial densities (1, 2 or 10 plants m²).

Diskussion

Auf Basis eines bisher von April 2012 bis jetzt laufenden Modellversuchs im Freiland wurden die Nachwirkungen einer einmaligen Verunkrautung von *Senecio vulgaris* mit drei unterschiedlichen Ausgangsbesatzdichten quantifiziert. Bei vollständiger Ausschaltung eines erneuten Sameneintrags nahm der Unkrautbesatz im Beobachtungszeitraum deutlich ab, ohne dass es zu einer Erschöpfung des Samenvorrats kam. Die Kreuzkrautdichte geht zwar gegen null, steigt aber mit dem vierten Anbausatz, also nach dem Winter, sogar wieder deutlich an, um dann wieder abzufallen.

LUTMAN *et al.* (2008) beschreiben, dass eine *Senecio*-Pflanze, die konkurrenzlos aufwächst, mehr als 12000 Samen bilden kann. Bezogen auf den oben beschriebenen Versuchsansatz würden dabei *Senecio*-Samendichten von 12000 bis 120000 Samen/m² herrühren. Betrachtet man diese Zahlen, erscheinen die im Versuch aufgelaufenen Pflanzenzahlen eher gering. Zwar muss man davon ausgehen, dass sich noch ein Teil keimfähiger Samen im Boden befindet, da aber die Überdauerungsfähigkeit der Samen im Boden mit nicht viel mehr als 2 Jahren angegeben wird (FIGUEROA *et al.*, 2007), ist kein großes Auflaufpotential mehr zu erwarten.

Die Ursachen des Samenverlustes wurden hier nicht im Einzelnen ermittelt. In der Literatur wird die sofortige Keimfähigkeit und anschließende Keimung der Samen von *Senecio vulgaris* als größte Verlustquelle der Samenbank angegeben (ROBERTS und FEAST, 1973). Typisch für *Senecio vulgaris* ist ein Dormanzzyklus von zunächst fehlender Dormanz und Dormanzinduktion in Abhängigkeit von der Temperatur (FIGUEROA *et al.*, 2007). Im Rahmen des angelegten Versuchs bestätigt sich dieser Zyklus, indem nach dem Winter wieder deutlich höhere Auflaufzahlen als vor dem Winter festzustellen waren.

Dass die Art generell durch vermehrte Bodenbearbeitung und Lichteinfluss zur Keimung angeregt wird (FIGUEROA *et al.*, 2007), bestätigt sich im Versuch dadurch, dass die Auflaufzahlen innerhalb der Salatreihen (Reihenmitte 2,5 cm zu jeder Seite) höher waren als auf der Fläche zwischen den

Reihen. Vergleicht man nämlich die Anzahl der Kreuzkrautpflanzen/m², ermittelt mit Hilfe des Göttinger Zählrahmens (Fläche innerhalb sowie zwischen den Salatreihen), mit den Zählungen zur Ernte innerhalb einer Salatreihe waren die Dichten innerhalb der Salatreihe auf den m² umgerechnet deutlich höher (nicht dargestellt). Erklären kann man dieses damit, dass es innerhalb der Reihen durch Reihenziehen, Einmischen der Salatsaat und dem Festdrücken der Saat mit einer Harke zu zusätzlichen Bodenbewegungen kam, die zwischen den Reihen nicht durchgeführt wurden. In diesem Zusammenhang stellten ROBERTS und FEAST (1973) ebenso wie FIGUEROA (2007) fest, dass die Überdauerungsfähigkeit der Samen in unbearbeiteten Boden höher liegt. Für die Praxis bedeutet dieses, dass grundsätzlich jeder flache Bodenbearbeitungsgang ein Auflaufen der *Senecio*-Pflanzen fördert und zu einer Reduzierung der Samen in der Samenbank führt.

Teilweise wurden sehr hohe Kreuzkrautbesatzdichten innerhalb einer Salatreihe ermittelt, die höchstwahrscheinlich auch zu einer Kontaminierung abgepackter Salatportionen geführt hätten. Allerdings entsprach die Versuchsdurchführung absoluten „worst case“ Bedingungen, da vor der ersten Salataussaat weder eine tief mischende Bodenbearbeitung noch eine Pflugfurche durchgeführt wurde und somit eine ungewöhnlich große Zahl an *Senecio*-Samen nahe der Bodenoberfläche verbleiben konnte. Weiterhin erfolgte grundsätzlich während der Kulturzeit der Salate weder eine mechanische noch eine chemische Bekämpfung. Lediglich vor jeder Einsaat wurde eine etwa 5 cm tiefe Bearbeitung mit einer Harke durchgeführt. *Senecio*-Pflanzen in der Blüte wurden allerdings grundsätzlich aus den Parzellen entfernt, da schwer einzuschätzen war wann diese Pflanzen die Samenreife erreichen würden. Von diesen Pflanzen würde die Gefahr eine Neukontaminierung ausgehen. Allerdings war der Anteil dieser Pflanzen sehr gering. Demzufolge ist er für die durchgeführten Bonituren zu vernachlässigen. Obwohl beim Zählen der Kreuzkräuter innerhalb der Salatreihen eine Vielzahl der Kreuzkräuter kaum über das Keimblattstadium hinaus entwickelt war, wurden sämtliche Pflanzen mitgezählt. Die kleinen Pflanzen hätten in der Praxis aber nicht zu einer Kontamination der Salate führen können.

In der Praxis ist es nahezu unwahrscheinlich, dass die Samenbank im Boden durch eine Kontamination von Samen aus einer Generation besteht. Im Normalfall wird die Samenbank in jedem Jahr durch unvollständige Bekämpfungsergebnisse oder unterlassene Bekämpfungsmaßnahmen in unkontrollierbarer Weise mit weiteren Samengenerationen aufgefüllt, sodass exakte Aussagen zur Persistenz einzelner Samen nicht möglich sind.

Die hier gefundene exponentielle Abnahme der Verunkrautung über die Anbausätze stimmt prinzipiell mit anderen Versuchen über die Abnahme von *Senecio*-Samen im Boden überein (FIGUEROA, 2003). Wie der Versuch dokumentiert ist das Risiko einer Folgeverunkrautung von der tolerierten Restverunkrautung abhängig.

Senecio vulgaris wird als wenig konkurrenzkräftige Unkrautart mit relativ gering ausgeprägter Samenpersistenz im Boden beschrieben (LUTMAN *et al.*, 2008). Da für die Kontaminierung von Blattsalaten aber eine Nulltoleranz besteht, ist es aus populationsdynamischer Sicht angezeigt, eine konsequente Unkrautbekämpfung durchzuführen und insbesondere Brachephasen, in denen eine Reproduktion und Ausbreitung von *Senecio vulgaris* in einem größeren Umfang stattfinden könnte, zu vermeiden. Neben intensiven Bodenbearbeitungsmaßnahmen, die die Keimung der Samen anregt, sollte vor allem die Fruchtfolge zur indirekten Bekämpfung der Art genutzt werden.

Literatur

- BUNDESAMT FÜR RISIKOBEWERTUNG (BfR), 2007: Salatmischung mit Pyrrolizidinalkaloid-haltigem Greiskraut verunreinigt; Stellungnahme Nr.028/(2007) des BfR vom 10. Januar (2007). Berlin (Germany): Bundesamt für Risikobewertung.
- ELLENBERG, H., H. E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER und D. PAULISSEN, 1992: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobot. **18**, Goltze, Göttingen.
- FIGUEROA, R., 2003: Biology and management of Common groundsel (*Senecio vulgaris* L.) in Strawberry. Dissertation. School of the Ohio State University.
- FIGUEROA R., D. DOUGLAS, J. CARDINA und K. HARRISON, 2007: Common Groundsel (*Senecio vulgaris*). Seed longevity and seedling emergence. Weed Science **55**, 187-192.
- HILTON, J. R., 1983: The influence of light on the germination of *Senecio vulgaris*. New Phytol. **94** (1), 29-37.

- LEISS, A. und H. MÜLLER-SCHÄRER, 2001: Population dynamics of the annual plant *Senecio vulgaris* in ruderal and agricultural habitats. *Basic Appl. Ecol.* **2**, 53-64.
- KÄSTNER, A., E.J. JÄGER und R. SCHUBERT, 2001: *Handbuch der Segetalpflanzen Mitteleuropas*. Wien Springer-Verlag, 449.
- LUTMAN P.J.W., K.J. BERRY und S.E. FREEMAN, 2008: Seed production and subsequent seed germination of *Senecio vulgaris* (groundsel) grown alone or in autumn-sown crops. *Weed Research* **48**, 237-247.
- REN, Z. und R. J. ABBOTT, 1991: Seed dormancy in Mediterranean *Senecio vulgaris* L. *New Phytol.*, **117**, 673-678.
- ROBERTS, H.A., 1982: Seasonal patterns of weed emergence. *Asp. Appl. Biol.* **1**, 153-154.
- ROBERTS, H. A. and P. M. FEAST. 1973. Emergence and longevity of seeds of annual weeds in cultivated and undisturbed soil. *J. Appl. Ecol.* **10**, 133-143.
- ROBINSON, D.E., J.T. O'DONOVAN, M.P. SHARMA, D.J. DOOHAN und R. FIGUEROA, 2003: The Biology of Canadian Weeds. 123. *Senecio vulgaris* L., *Can. J. Plant Sci.*, 629-644.

New approaches to the conservation of rare arable plants in Germany

Neue Ansätze zum Artenschutz gefährdeter Ackerwildpflanzen in Deutschland

Harald Albrecht^{1*}, Julia Prestele², Sara Altenfelder¹, Klaus Wiesinger² and Johannes Kollmann¹

¹Lehrstuhl für Renaturierungsökologie, Emil-Ramann-Str. 6, Technische Universität München, 85354 Freising, Deutschland

²Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Lange Point 12, 85354 Freising, Deutschland

*Korrespondierender Autor, albrecht@wzw.tum.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.021

Zusammenfassung

Der rasante technische Fortschritt der Landwirtschaft während der letzten Jahrzehnte hat einen dramatischen Rückgang seltener Ackerwildpflanzen verursacht. Um diesem Rückgang Einhalt zu gebieten, wurden verschiedene Artenschutzkonzepte wie das Ackerrandstreifenprogramm oder das aktuelle Programm '100 Äcker für die Vielfalt' entwickelt. Für Sand- und Kalkäcker sind geeignete Bewirtschaftungsmethoden zur Erhaltung seltener Arten inzwischen gut erforscht. Für saisonal vernässte Ackerflächen, die ebenfalls viele seltene Arten aufweisen können, ist dagegen wenig über naturschutzfachlich geeignete Standortfaktoren und Bewirtschaftungsmethoden bekannt. Untersuchungen an sieben zeitweise überstauten Ackersenken bei Parstein (Brandenburg) zeigten, dass das Überstauungsregime und insbesondere die Dauer der Überstauung die Artenzusammensetzung der Bestände stark beeinflussen. Die aktuelle Bewirtschaftung zeigte dagegen weniger deutliche Auswirkungen auf Populationen der Zielarten *Myosurus minimus* und *Elatine alsinastrum*. Ein weiteres aktuelles Problem des Ackerwildpflanzenschutzes ist, dass seltene Arten oft auf Flächen vorkommen, wo ihr Überleben durch die derzeitige Bewirtschaftung akut gefährdet ist. Da die Richtlinien der ökologischen Anbauverbände intensive Bewirtschaftungsverfahren weitgehend einschränken, bietet der Ökologische Landbau günstige Voraussetzungen für den Schutz gefährdeter Ackerwildpflanzen. Wie deren Populationen erfolgreich in ökologisch bewirtschafteten Feldern etabliert werden können, wird in einem Feldversuch bei Gräfelfing in der Münchner Schotterebene untersucht. Erste Ergebnisse zu den winterannuellen Arten *Legousia speculum-veneris* und *Consolida regalis* zeigen, dass sich diese Arten erfolgreich in ökologisch bewirtschafteten Äckern etablieren lassen. Frühe Herbstsaat und eine reduzierte Kulturpflanzenkonkurrenz im Ansaatjahr erbrachten dabei die besten Erfolge. Bei reduzierter Kulturpflanzendichte führte Dinkel zu deutlich höheren Etablierungsraten als Roggen. Die Ergebnisse dieser Studie können einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung gefährdeter Arten in der Agrarlandschaft leisten, wenn der Transfer gefährdeter Ackerwildpflanzen in ökologisch bewirtschaftete Ackerflächen umgesetzt wird.

Stichwörter: Artentransfer, Bewirtschaftung, Ökologischer Landbau, Überstau

Abstract

Over the past decades, the rapid improvement of agricultural technology has caused a dramatic decrease of rare arable plants. This process has stimulated the development of various concepts to protect these species such as the field margin program or more recently the program '100 fields for biodiversity'. For fields with sandy or calcareous soils, management practices to conserve the specific arable flora are well explored. For occasionally wet sites, however, which may also harbour various threatened species, little is known about suitable site conditions and conservation management. Studying seven seasonally flooded field sites close to Parstein (Brandenburg) showed that the flooding regime and particularly the duration of flooding strongly affect the composition of the apparent plant communities. Effects of different arable farming practices on the populations of the two target species *Myosurus minimus* and *Elatine alsinastrum* were less pronounced. Another urgent problem of arable plant conservation is that rare species frequently grow at sites where they are threatened by current cultivation. As management is less intense under organic farming, this system could provide suitable conditions for the conservation of threatened species. However, locally extinct species need to be actively reintroduced to overcome dispersal limitations. How these plants can be successfully established in fields under organic farming was studied in a field trial at Gräfelfing (Bavaria). Preliminary results on the winter annuals *Legousia speculum-veneris* and *Consolida regalis* indicate that rare arable plants can be successfully introduced to organic fields. Early autumn sowing and a low crop competition provide the most favourable conditions for their establishment. At reduced sowing rates, winter spelt allowed a much better establishment than winter rye. If the idea of transferring rare arable plants to organic farmland establishes in

practice, results of this study could substantially contribute to the conservation of rare species in arable landscapes.

Keywords: Arable weed, flooding, management, organic farming, species transfer, threatened species, wet field

Introduction

Over the past decades, the diversity of arable plant communities has severely declined and many of its characteristic species have become endangered (ALBRECHT, 1995; SUTCLIFFE and KAY, 2000; LOSOSOVÁ *et al.*, 2004; FRIED *et al.*, 2009; MEYER *et al.*, 2013). To counteract this development, conservation concepts were developed already in the 1970s. Quite successful was the Field Margin Program, initiated in North Rhine-Westphalia in 1978 by SCHUMACHER (1980) and adopted in most other federal states of Germany during the 1980s and 1990s (MEYER *et al.*, 2010). Monitoring surveys revealed that these strips harboured various threatened species, some of which were considered locally extinct. Thus, numbers of species listed in the Red List of the corresponding states were 45 for Lower Saxony (SCHACHERER, 1994), 43 for in North Rhine-Westphalia (FRIEBEN, 1995) and 47 for Rhineland-Palatinate (OESAU and JÖRG, 1994). However, factors such as weed infestation problems in parts of the fields, difficulties of enforcing contractual obligations, inflexible management agreements, insufficient financial support, difficulties of integrating the strips into the operational process of the farm, and increasing numbers of competing agro-environmental schemes (flower strips, renewable resources etc.) caused a severe decline of the number of protected field strips in Germany during the 2nd half of the 1990s (WICKE, 1998). A survey on arable plant conservation in Germany showed that only 170 sites with a main focus on arable plant conservation were left in 2007 (MEYER *et al.*, 2008), and most of these conservation projects were dependent on local activities. Therefore, a nationwide network '100 Fields for Biodiversity' was established in 2009 to conserve threatened arable plants and plant communities within their original landscape and land use context (MEYER *et al.*, 2008). Important elements of this concept are long-term financing, a regular support and supervision by experts and a management concept which is developed in cooperation with the farmers and focused on the requirements of the target species.

For fields on sandy soils, chalk or limestone, management practices to preserve the specific arable flora have been well explored (SCHNEIDER *et al.*, 1994). For seasonally wet sites, however, which can also harbour a whole series of endangered species, little is known about adaptation to the specific site conditions and agricultural management. Therefore, the sensitivity of species such as *Elatine alsinastrum*, *Limosella aquatica*, *Peplis portula* or *Myosurus minimus* to flooding, tillage, fertilization and herbicide application was analyzed to provide basic information how these communities could be promoted by arable management.

Another current problem in the conservation of arable plants is that many populations grow at sites where they are endangered by intensive cultivation. Farming practices that frequently threaten these species are the application of herbicides, strong crop competition due to fertilization and narrow crop rotations (WILSON, 1990; SCHNEIDER *et al.*, 1994). An option to maintain these populations in their specific landscapes is to transfer them to sites with a lower management intensity. As regulations of organic farming limit nitrogen input and exclude herbicide spraying, this management system could provide suitable conditions for the conservation of threatened plant populations. Moreover, a survey by WIESINGER *et al.* (2010) demonstrated that many organic farmers are willing to accept rare species in less productive parts of their arable land if their introduction does not result in significant yield losses and the spread of noxious weeds. As rare species established from transferred seeds are highly susceptible to mechanical weed control and competition (VAN ELSSEN and HOTZE, 2008; ALBRECHT *et al.*, 2009), good knowledge is required of the management conditions that ensure the successful establishment of the corresponding populations. Therefore, the development of suitable methods to successfully

establish rare arable plants in fields under organic management is one of the main objectives of the project 'Re-Introduction of Rare Arable Plants on Organic Farms'.

Effects of land use and flooding on arable plant populations of seasonally wet fields

The investigations were carried out at seasonally flooded arable field depressions close to Parstein on the Barnim Plateau in north-eastern Brandenburg. Seasonally wet fields of this region are characterized by an outstanding composition of rare plant species (FISCHER, 1983). To detect the effects of management factors such as the presence of crops, ploughing and herbicide application, two different species were studied at seven different field depressions. *Myosurus minimus* (*Ranunculaceae*) is a winter annual adapted to frequent disturbances and seasonal water logging. Arable fields are one of the major habitats of this species. *Elatine alsinastrum* (*Elatinaceae*) occurs on sites with a water table just below or above the soil surface. It usually emerges in early summer from the bare ground of drained ponds, backwater pools of rivers or even from wet arable fields (POPIELA *et al.*, 2013). In the Red List of threatened plants of Germany, *M. minimus* is classified as 'vulnerable' and *E. alsinastrum* as 'critically endangered' (category 2) (LUDWIG and SCHNITTLER, 1996).

The experimental plots were located in seven field sites where the target species were present in summer 2012. As all plots are situated in fields of one farm, they also share a common management history. Treatments: with and without 160 kg N/ha; with and without herbicide (Tribenuron 55 g/ha); and with and without cover crop (winter wheat). Field data were sampled during the summer 2013 in 1 x 1 m plots with six replicates per treatment. To test the effect of different flooding regimes, soil was taken from six field depressions and mixed to one composite sample from topographically higher sites which are scarcely flooded, and one sample within the depressions. Each of the two large mixed samples was divided in 72 portions of soil each with 1 kg fresh weight. These portions were filled in plant pots and transferred to artificial water basins at the University of Regensburg where they were exposed to the following flooding treatments for one year: Duration of flooding: never, 2 weeks, 8 weeks, permanent. Flooding depths: 0 cm, 5 cm, 15 cm and 40 cm. For each combination six replicates were tested.

During the first year of the experiment, the different treatments led to some differences in field emergence of *M. minimus* (seedling establishment in plots with application of herbicides was slightly decreased). The overall differences between the treatments, however, were not significant (Fig. 1). *E. alsinastrum*, which usually emerges long after the application of herbicides, showed a generally poor field emergence in 2013 (results not shown). This may be due to the fact that the summer of 2013 was hotter and dryer than that of 2012, when the plots were selected based on the occurrences of rare species. Hence, no statistically significant effects of the different treatments could be detected. This lack of significance and the considerable variation observed within the treatments give a first indication that other factors such as water regime may impact the rare species of this habitat type. Therefore, the effects of different flooding regimes were tested in an experiment where soil of the study area was exposed to different durations and depths of flooding.

Axis 1 of a DCA ordination (Fig. 2) show that the flooding regime clearly separated the species spectrum emerging from the soil seed bank into typical arable weeds of terrestrial sites and species well adapted to flooding. The large distance between species such as *Myosurus minimus* and *Alisma plantago-aquatica*, which both prefer (seasonally) wet soils, suggests that there is still a large variation among environmental requirements of indicators for moist or wet habitats. High correlation between the duration of flooding and the first ordination axis (Kendal Tau τ : 0.725) emphasizes that this difference was mainly caused by the duration of flooding. Axis 2 segregated samples taken from the upper and lower parts of the field depressions, reflecting the long-term flooding regime at these areas. Depth of flooding hardly affected species composition.

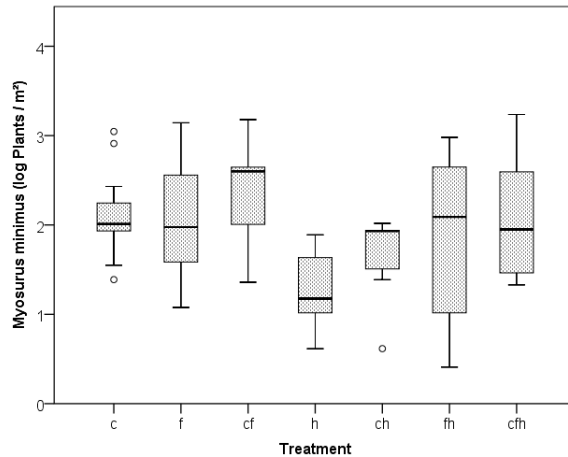


Fig. 1 Effect of cover crop (wheat) (c), fertilization (f) and herbicide application (h) on establishment of *Myosurus minimus* in field plots. Fertilization: 0 or 160 kg N/ha; herbicide: 0 or 55 g Tribenuron/ha at BBCH 34; and crop: with or without winter wheat cv. Akteur. Kruskal-Wallis test indicates no significant differences among the treatments ($P < 0.05$).

Abb. 1 Wirkung von Deckfrucht (Weizen) (c), Düngung (f) und Herbizidbehandlung (h) auf das Auflaufen von *Myosurus minimus* in den Behandlungsplots. Düngung: 0/160 kg N/ha; Herbizid: 0/55 g Tribenuron/ha in BBCH 34; und Kultur: mit/ohne Winterweizen Sorte Akteur. Nach Kruskal-Wallis-Test keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen ($P < 0.05$).

Our results suggest that flooding regime and particularly the duration of flooding strongly affected the composition of the plant communities emerging from the soil seed bank. Effects of different arable farming practices on the populations of rare species were less pronounced. This may be – at least for *E. alsinastrum* – due to the dry and hot summer in 2013 which negatively affected field establishment. To which extent these treatments control the establishment of rare species on temporarily wet soils in general remains to be seen. Further field investigations and seed bank analyses may reveal the long term development of the populations.

Establishment of threatened arable plants in organic farmland

The investigations were carried out in the northern Munich Plain. This landscape is characterized by a high percentage of arable farming and formerly harboured various rare species, specifically adapted to calcareous soils.

During the past decades, however, these species significantly declined (ALBRECHT, 1989) and some of them are now close to regional extinction. Therefore, the arable field reserve 'Kastner Grube' was established in 1999 to conserve the remaining populations of rare arable plants in the northern Munich Plain (MATTHEIS, 2003). Seeds from this reserve were propagated by a regional seed producer and transferred to experimental field plots of the Seidlhof Stiftung, close to Gräfelfing to the west of Munich. The investigated species were the comparatively large-seeded and tall Ranunculaceae *Consolida regalis* and the small-growing and small-seeded Campanulaceae *Legousia speculum-veneris*. Both species are classified as 'endangered' (category 3) in the Red List of endangered plants in Germany (LUDWIG and SCHNITTLER, 1996). In addition, they are also listed among the 40 species that are of particular importance for arable plant conservation throughout Europe (STORKEY *et al.*, 2012). In a preliminary survey none of these species occurred at the plots prior to sowing.

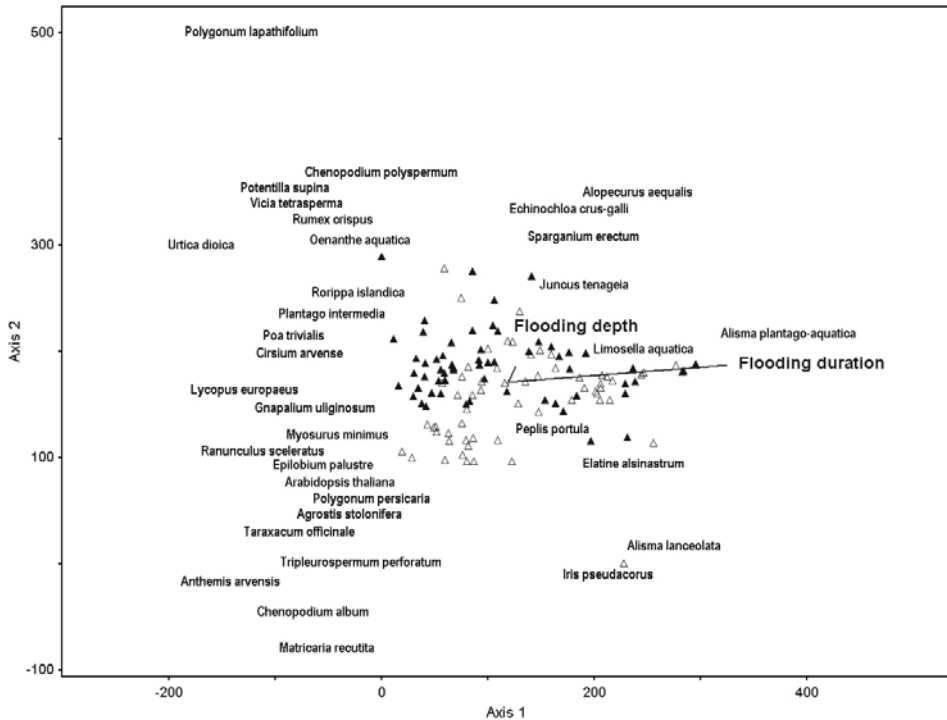


Fig. 2 DCA ordination biplot of the species composition emerging from the soil seed bank of six field depressions which are regularly affected by flooding. Samples come from frequently (▲) and scarcely (△) flooded parts of the depressions. Duration of flooding: never, 2 weeks, 8 weeks, and permanent. Flooding depths: 0 cm, 5 cm, 15 cm and 40 cm. Species occurring in less than six samples were removed. Before the ordination data were square root transformed. Length of gradient for Axis 1 is 2.96. Percentages of variance explained: Axis 1 36.1%, Axis 2 13.6%.

Abb. 2 DCA-Ordination Biplot der aus Samenbankproben von sechs saisonal überfluteten Ackersenken aufgelaufenen Artenzusammensetzung. Die Probestellen stammen von häufig (▲) und selten (△) überstauten Bereichen der Senken. Überflutungsdauer: nie, 2 Wochen, 8 Wochen sowie permanent. Überstautiefen: 0 cm, 5 cm, 15 cm und 40 cm. Arten mit weniger als sechs Vorkommen wurden ausgeschlossen. Vor der Ordination erfolgte eine Quadratwurzel-Transformation. Gradientenlänge von Axis 1 war 2,96. Anteil der durch die Achsen erklärten Varianz: Axis 1 36,1%, Axis 2 13,6 %.

As winter annual crops are known to provide the most favourable establishment conditions for the target species (SCHNEIDER *et al.*, 1994; GÜNTER, 1997), winter rye and winter spelt were used to test how the presence and density of crops affected arable plant establishment. The sowing rates usually applied in organic fields of the region are 160 kernels/m² for hulled spelt and 350 seeds/m² for rye. To detect how the rare species establish under reduced crop competition, these 'normal' sowing rates were complemented by two treatments with reduced sowing rates and one variant without any crop. Reduced sowing rates were a quarter of the usual seed numbers, i.e. 40 kernels/m² for spelt and 88 seeds/m² for rye.

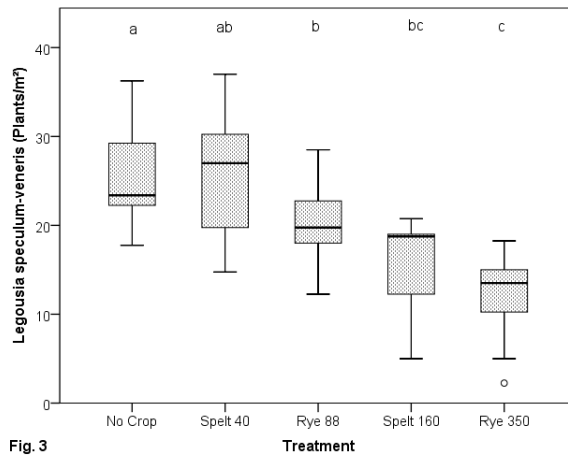


Fig. 3

Fig. 3 Effects of crop species and sowing densities on the number of established *Legousia speculum-veneris* plants. Sowing rates: *L. speculum-veneris* 500 seeds/m²; spelt 40, 160 spelt seeds with husk/m²; and rye 88, 350 seeds/m². Different letters (a,b,c) indicate significant differences between treatments (Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney U-test; $P < 0.05$). To correct alpha error by multiple comparison HOCHBERG (1988) correction was used.

Abb. 3 Effekt von Art und Saatstärke der Kulturpflanzen auf die Individuendichte von *Legousia speculum-veneris*. Saatstärke: Spelt 40, 160 Dinkelfesen/m²; Rye 88, 350 Roggensamen/m²; and *L. speculum-veneris* = 500 Samen/m². Verschiedene Buchstaben (a,b,c) kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P < 0.05$) beim generellen (Kruskal-Wallis Test) und paarweisen (Mann-Whitney U-Test) Behandlungsvergleich. Eine Alpha-Fehlerkorrektur erfolgte nach HOCHBERG (1988).

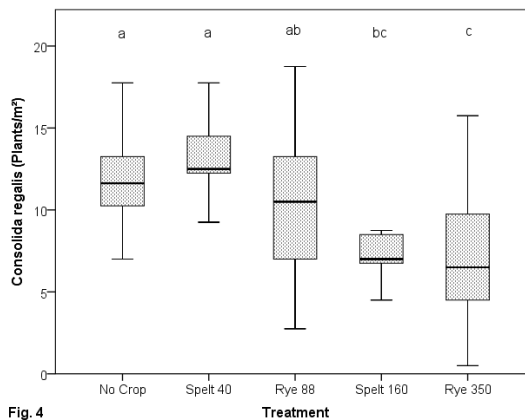


Fig. 4

Fig. 4 Effects of crop species and sowing densities on the number of established *Consolida regalis* plants. Sowing rates: *C. regalis*: 200 seeds/m²; spelt 40, 160 spelt seeds with husk/m²; and Rye 88, 350 seeds/m². Statistical analysis see Figure 3.

Abb. 4 Effekt von Art und Saatstärke der Kulturpflanzen auf die Individuendichte von *Consolida regalis*. Saatstärke: Dinkel (Spelt) 40, 160 Fesen/m²; Roggen (Rye) 88, 350 Samen/m², *C. regalis* 200 Samen/m². Statistische Auswertung wie in Abbildung 3.

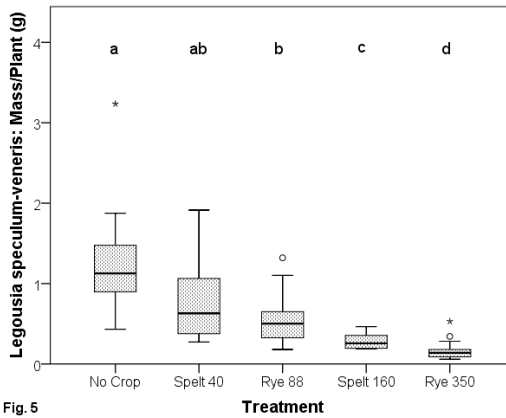


Fig. 5

Fig. 5 Effects of different crop species and sowing rates on the biomass of *Legousia speculum-veneris* plants. Sowing rates (seeds/m²): Spelt 40, 160 = spelt seeds with husk; and Rye 88, 360 = rye seeds. 500 seeds of *L. speculum-veneris*. For statistical analysis see Figure 3.

Fig. 5 Effekt verschiedener Arten und Saatstärken von Kulturpflanzen auf die Biomasse von *Legousia speculum-veneris*. Saatstärken: Dinkel (Spelt) 40, 160 Fesen/m²; Roggen (Rye) 88, 360 Samen/m² und *L. speculum-veneris* 500 Samen/m². Statistische Auswertung wie in Abbildung 3.

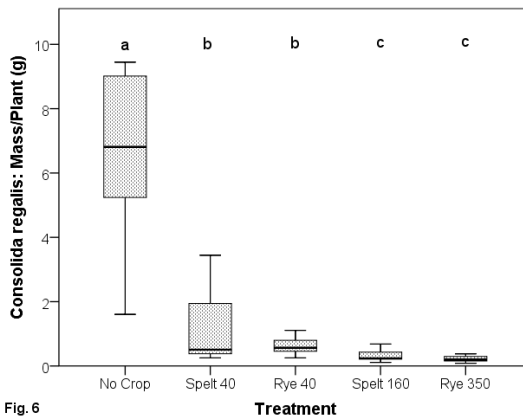


Fig. 6

Fig. 6 Effects of different crop species and sowing rates on the biomass of *Consolida regalis* plants. Sowing rates (seeds/m²): Spelt 40, 160 = spelt seeds with husk; Rye 88, 360 = rye seeds. 500 seeds of *L. speculum-veneris*. Statistical analysis see Figure 3.

Fig. 6 Effekt von Art und Saatstärke der Kulturpflanzen auf die Biomasse von *Consolida regalis*. Saatstärken: Dinkel (Spelt) 40, 160 Fesen/m²; Roggen (Rye) 88, 360 Samen/m²; und *C. regalis* 200 Samen/m². Statistische Auswertung wie in Abbildung 3.

For both *L. speculum-veneris* and *C. regalis* Figures 3 - 6 showed that plant density and the phytomass per plant significantly declined at increasing sowing rates of the crop. These results indicate that both species are highly susceptible to crop competition. As plant phytomass is closely correlated with seed production (corresponding results by LUTMAN *et al.* (2011) were also confirmed for the target species; data not published), the impact of competition on plant number

and fitness is particularly important. It suggests that crop competition may essentially affect seed production and thus the establishment and long-term survival of populations. Despite the differences in plant and seed size, this seems to apply for both species. In order to establish threatened species successfully, this means that reduced crop sowing rates favour establishment and survival of the target species. If crops shall be sown, spelt may be preferred over rye, which showed a higher competitiveness even at reduced sowing rates.

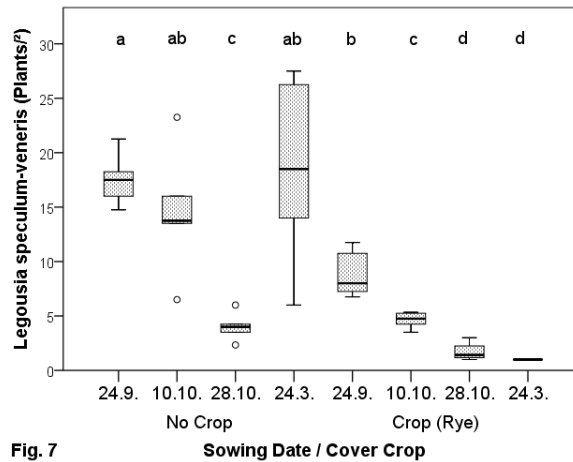


Fig. 7

Fig. 7 Effects of different sowing dates on the number of established plants of *Legousia speculum-veneris*. Sowing rates: *L. speculum-veneris* 500 seeds/m², and winter rye 360 seeds/m². For statistical analysis see Figure 3.

Abb. 7 Auswirkung verschiedener Saattermine auf die Individuendichte von *Legousia speculum-veneris*. Saatstärken: *L. speculum-veneris* 500 Samen/m², und Winter-Roggen 360 Samen/m². Statistische Auswertung wie in Abbildung 3.

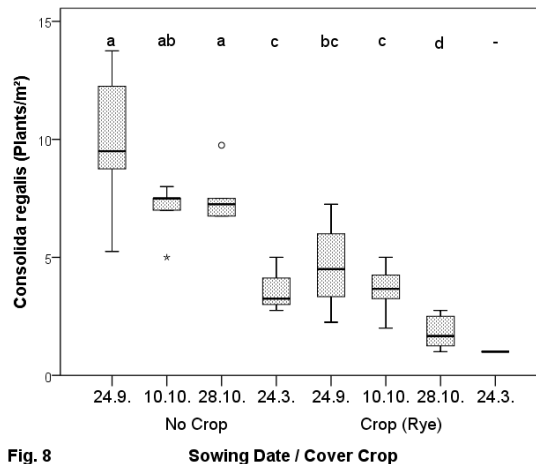


Fig. 8

Fig. 8 Effects of different sowing dates on the number of established plants of *Consolida regalis*. Sowing rates: *C. regalis* 200 seeds/m², and winter rye 360 seeds/m². Statistical analysis see Figure 3.

Fig. 8 Auswirkung verschiedener Saattermine auf die Individuendichte von *Consolida regalis*. Saatstärken *C. regalis* 200 Samen/m², und Roggen 360 Samen/m². Statistische Auswertung wie in Abbildung 3.

Another important factor affecting arable plant establishment is the time of sowing. As most threatened arable plant species are winter annuals (ALBRECHT and MATTHEIS, 1998), an early, an intermediate and a late autumn sowing date as well as one date in spring were compared (Fig. 7 and 8). Early sowing in autumn significantly increased the establishment of both species. In contrast to *C. regalis*, *L. speculum-veneris* also showed substantial emergence when sown in a pure stand without cover crops in spring. These individuals, however, did not develop flowers before harvest (results not shown). Both species produced more biomass when winter spelt was used as the crop.

These results indicate that rare arable plants can be successfully introduced into fields under organic management when certain constraints are considered. Hence, early autumn sowing and reduced crop competition may provide the most favourable conditions for a successful establishment of threatened winter annual plants. With reduced crop sowing rates, winter spelt allows a much better seedling establishment than winter rye. In future experiments, the effects of grass-clover mixtures in crop rotations, of modified sowing densities of the arable plants and the establishment of other rare species will be studied. If the idea of transferring rare arable plants from their original habitats to organic farming fields finds its way into practice, results of this study could contribute substantial information on how species diversity of arable landscapes could be developed in the future. Compared to isolated field reserves, this seeding method has also the advantage that populations from a number of farms can be transferred to sites with different management conditions. Diverging selection mechanisms at these sites may maintain or even increase morphological, phenological and genetic diversity within a landscape.

Acknowledgements

Funding was provided by the Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) for the project 'Development of a conceptual framework to conserve the vegetation of seasonally wet field depressions' (DBU No. 29317-33/0) and by the Bundesprogramm Ökologischer Landbau for 'Re-introduction of rare arable plants on organic farms' (No. 06OE355). Many thanks to the Seidlhof-Stiftung for contributing the site and the personal staff to perform the field trial at Gräfelting and to Prof. Dr. Peter Poschlod, University of Regensburg for providing the water basins for the flooding experiment. Invaluable support to perform the DBU project was given by Uwe Raabe (Marl), Andreas Herrmann (Potsdam) and Frank Gottwald (Brodowin).

References

- ALBRECHT, H., 1989: Untersuchungen zur Veränderung der Segetalflora an sieben bayerischen Ackerstandorten zwischen den Erhebungszeiträumen 1951/68 und 1986/88. Dissertationes Botanicae 141. Cramer / Borntraeger, Stuttgart.
- ALBRECHT, H., 1995: Changes in the arable weed flora of Germany during the last five decades. Proc. 9th EWRS-Symposium „Challenges for Weed Science in a Changing Europe“; Budapest, 10.-12.7.1995, pp. 41-48.
- ALBRECHT, H., F. MAYER und K. WIESINGER, 2009: Biodiversität und Artenschutz bei Ackerwildpflanzen. Laufener Spezialbeiträge 2009(2), 135-142.
- ALBRECHT, H. and A. MATTHEIS, 1998: The effects of organic and integrated farming on rare arable weeds on the Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM) research station in southern Bavaria. Biol. Conserv. **86**, 347-356.
- FISCHER, W., 1983: Vegetationsmosaik in vernässten Ackerhohlformen mit einem Beitrag zu segetalen Zwergbinsen- und Zweizahn-Gesellschaften. Wissenschaftliche Zeitschrift der Pädagogischen Hochschule Potsdam, Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe **27**, 495-516.
- FRIEBEN, B., 1995: Effizienz des Schutzprogrammes für Ackerwildkräuter. Mitt. Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung NRW **95**(4), 14-19.
- FRIED, G., S. PETIT, F. DESSAINT and X. REBOUD, 2009: Arable weed decline in Northern France: Crop edges as refugia for weed conservation? Biol. Conserv. **142**, 238-243.
- GÜNTER, G., 1997: Populationsbiologie seltener Segetalarten. Scripta Geobotanica **22**, Goltze Verlag, Göttingen.
- Hochberg, Y., 1988: A sharper Bonferroni procedure for multiple tests of significance. Biometrika **75**, 800-802.
- LOSOSOVÁ Z., M. CHYTRÝ, Š. CIMALOVÁ, Z. KROPÁČ, Z. OTYPKOVÁ, P. PYŠEK and L. TICHÝ, 2004: Weed vegetation of arable land in Central Europe: Gradients of diversity and species composition. J. Veg. Sci. **15**, 415-422.
- LUDWIG, G. and M. SCHNITTLER (Bearb.), 1996: Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. Schr. R. f. Vegetationskunde 28, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.

- LUTMAN, P.J. W., K. J. WRIGHT, K. BERRY, S. E. FREEMAN and L. TATNELL, 2011: Estimation of seed production by *Myosotis arvensis*, *Veronica persica* and *Viola arvensis* under different competitive conditions. *Weed Res.* **51**, 499-507.
- MATTHEIS, A., 2003: Das Feldflorenreservat an der Kastner-Grube, Ergebnisse 2002 und 2003. Unveröff. Gutachten. Auftraggeber: Heideflächenverein Münchener Norden e. V., Eching.
- MEYER, S., C. LEUSCHNER and T. VAN ELSSEN, 2008: Schutzzäcker für die Segetalflora in Deutschland - Bestandsanalyse und neue Impulse durch das Projekt „Biodiversität in der Agrarlandschaft“. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XXI*, 363-368.
- MEYER, S., K. WESCHKE, C. LEUSCHNER, T. VAN ELSSEN and J. METZNER, 2010: A new conservation strategy for arable weed vegetation in Germany - the project "100 fields for biodiversity". *Plant Breeding and Seed Science* **61**, 25-34.
- MEYER, S., K. WESCHKE, B. KRAUSE and C. LEUSCHNER, 2013: Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s - a cross-regional analysis. *Divers. Distrib.* **19**, 1175-1187.
- OESAU, A. and E. JÖRG, 1994: The pilot-project: "field margin strips" in Rheinland-Pfalz (1984-1993). In: *Field margin strip programmes. Proceedings of a technical seminar held at Mainz, Germany on 25.-27.5.1994*. E. Jörg (Ed.), pp. 29-34.
- POPIELA, A. A., A. R. ŁYSKO, A. WIECZOREK and A. V. MOLNÁR, 2013: Recent distribution of the Euro-Siberian-sub-Mediterranean species *Elatine alsinastrum* L. (*Elatinaceae*) *Acta Bot. Croat.* **72**, 33-44.
- SCHACHERER, A., 1994: Das niedersächsische Ackerwildkrautprogramm - Ergebnisse des Pilotprojektes. *Schriftenr. Stiftung zum Schutz gefährdeter Pflanzen* **5**, 72-77.
- SCHNEIDER, C., U. SUKOPP and H. SUKOPP, 1994: Biologisch-ökologische Grundlagen des Schutzes gefährdeter Segetalpflanzen. *Schr. R. f. Vegetationskunde* **26**. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- SCHUMACHER, W., 1980: Schutz und Erhaltung gefährdeter Ackerwildkräuter durch Integration von landwirtschaftlicher Nutzung und Naturschutz. *Natur und Landschaft* **55**, 447-453.
- STORKEY, J., S. MEYER, K. S. STILL and C. LEUSCHNER, 2012: The impact of agricultural intensification and land use change on the European arable flora. *Proceedings of the Royal Society B* **279**, 1421-1429.
- SUTCLIFFE, O. S. and Q. O. N. KAY, 2000: Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s. *Biol. Conserv.* **93**, 1-8.
- VAN ELSSEN, T. and C. HOTZE, 2008: Die Integration autochtoner Ackerwildkräuter und der Kornrade in Blühstreifenmischungen für den ökologischen Landbau. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XXI*, 373-378.
- WICKE, G., 1998: Stand der Ackerrandstreifenprogramme in Deutschland. *Schriftenreihe Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz (Mainz)* **6**, 55-84.
- WIESINGER, K., K. CAIS, T. BERNHARDT and T. VAN ELSSEN, 2010: Klares Votum für Rittersporn, Frauenspiegel und Co. *Ökologie & Landbau* **153**(1), 54-56.
- WILSON, P. J., (1990): The ecology and conservation of rare arable weed species and communities. PhD Thesis, University of Southampton.

Einfluss des Klimawandels auf die Keimung von Ackerwildkräutern

To be or not to be - common and endangered arable weed species in the face of Global Climate Change

Anna Theresa Rühl*, Tobias W. Donath, R. Lutz Eckstein und Annette Otte

Professur für Landschaftsökologie und Landschaftsplanung, Justus-Liebig-Universität Gießen,
Heinrich-Buff-Ring 26, 35392 Gießen

*Korrespondierender Autor, Theresa.Ruehl@umwelt.uni-giessen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.022

Zusammenfassung

Die Rote Liste der gefährdeten Pflanzen Deutschlands weist die Gruppe der annualen Arten der Segetalflora als die am stärksten gefährdete Artengruppe in Deutschland aus. Neben den Herausforderungen des Landnutzungswandels durch die Intensivierung der Landwirtschaft stellt in Zukunft auch der Klimawandel die Anpassungsfähigkeit der Ackerwildkräuter auf die Probe. Im Zuge der globalen Erwärmung wird es auch in Mitteleuropa zu Veränderungen der klimatischen Verhältnisse kommen. Grundsätzlich werden häufiger Extremwetterlagen erwartet. So wird davon ausgegangen, dass die Pflanzen Mitteleuropas häufiger mit extremer Hitze und Trockenheit konfrontiert werden. Damit könnten sich die Standortfaktoren Temperatur und Wasserverfügbarkeit zum Teil erheblich verändern und so eine Anpassungsreaktion der Vegetation erforderlich machen.

Vor diesem Hintergrund wurde die Keimungselastizität von fünf häufigen und fünf seltenen Ackerwildkrautarten hinsichtlich der Standortfaktoren Temperatur und Wasserverfügbarkeit untersucht. Damit sollen die Fragen beantwortet werden i) wie die Arten dieser Artengruppe im Allgemeinen auf die Veränderungen von Temperatur und Wasserverfügbarkeit während des Keimungsprozess reagieren und ii) ob es in diesem Zusammenhang einen signifikanten Unterschied zwischen häufig vorkommenden und seltenen Arten gibt.

Stichwörter: Ackerwildkräuter, Anpassungsfähigkeit, Keimung, Klimawandel, Temperatur, Wasserverfügbarkeit

Abstract

Arable weeds are one of the most endangered species groups in Europe. Modern agriculture and intensive land use management with the application of herbicides and fertilisers, enhanced seed cleaning, simplified crop rotations and abandonment of marginal arable sites are the main causes for the continuous decline of arable weeds. However, besides these changes in land use also global climate change may challenge the adaptability of arable weeds. Most scientists agree that the frequency of extreme meteorological conditions will increase in the future. As a consequence, plants of Central Europe will be subject to higher temperatures and reduced water supply due to longer intervals without precipitation during the growing season.

We exposed seeds of five common and five endangered arable weed species to different temperatures and water potentials to study i) how this plant group responds to higher temperatures and lower moisture during germination in general and ii) whether there is a significant difference between common and endangered species in this respect.

Keywords: Adaptability, arable weeds, climate change, germination, temperature, water availability

Einleitung

Ackerwildkräuter wurden einst gemeinsam mit dem Wissen der Landbewirtschaftung und den ersten Kulturpflanzen eingeführt und durch die stattfindende Co-Evolution gefördert. Dabei haben sie stets mit den Kulturpflanzen um die vorhandenen Ressourcen konkurriert (ELLENBERG *et al.*, 2010). Heute zählen sie zu den am stärksten gefährdeten Artengruppen in Europa (BRÜTTING *et al.*, 2012; MEYER *et al.*, 2008). Als Gefährdungsursache steht die Intensivierung der Landwirtschaft seit den 50er Jahren mit dem Einsatz von Herbiziden und Mineraldünger, verbesserter Saatgutreinigung, Vereinfachung der Fruchtfolgen, frühem Stoppelumbbruch und der Aufgabe von Grenzertragsstandorten im Mittelpunkt (ALBRECHT, 1995; MATSON *et al.*, 1997; GEROWITT, 2003; FRIED *et al.*, 2008).

Durch die moderne Landwirtschaft hat sich das Artenspektrum auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen in Europa verschoben (SUTCLIFFE und KAY, 2000; HAWES *et al.*, 2010; STORKEY *et al.*, 2011). Dabei bestehen häufig komplexe Zusammenhänge zwischen den oben beschriebenen Veränderungen der Landnutzung und anderen Standortfaktoren, wie z. B. Temperatur und Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode. Ackerwildkrautarten, die innerhalb einer breiten Temperaturspanne keimen können, wurden gefördert, wohingegen solche, die eine engere Temperaturspanne für die Keimung aufweisen, zurückgingen. Diesen Trend beschreibt OTTE (1994) in einer breit angelegten Studie zu den Temperatursprüchen von Ackerwildkräutern. Demnach sind Arten mit einer engen Bindung an kühle Keimungstemperaturen und einer damit verbundenen kurzen Auflaufphase zwischen den 1950er und 1990er Jahren stark zurückgegangen. Zu diesen rückläufigen Arten zählen insbesondere Frühjahrskeimer wie z. B. *Legousia speculum-veneris*. Dabei konnte als Ursache für diese Entwicklung u. a. das Zusammenspiel von Keimungsverhalten im Jahresverlauf und Herbizideinsatz identifiziert werden. Nach OTTE (1996) spielt die Temperatur und damit die Jahreszeit, in die das Auflaufen der Keimlinge fällt, eine entscheidende Rolle für die erfolgreiche Etablierung der Art und damit für die heutige Gefährdungssituation. Die überwinternden oder sich im zeitigen Frühjahr entwickelnden Arten werden durch den Herbizideinsatz im Frühling zu Beginn der Hauptwachstumsphase der Kulturpflanzen abgetötet und können nur unter äußerst günstigen Bedingungen erneut auflaufen und ihren Vegetationszyklus erfolgreich abschließen (OTTE, 1994). In diesem Zusammenhang liegt die aktuelle Gefährdung vieler Ackerwildkräuter begründet.

Neben den Veränderungen in der Landnutzung wird auch der Klimawandel die Anpassungsfähigkeit der Ackerwildkräuter auf die Probe stellen (THUILLER, 2005; DREESEN *et al.*, 2012; PETERS *et al.*, 2012). Aktuelle Szenarien lassen eine allgemeine Erwärmung um 0,5-2 °C bis 2050 erwarten. Zudem wird davon ausgegangen, dass in Zukunft häufiger Extremwetterlagen auftreten werden. So werden Starkregenereignisse und die Anzahl der Tage mit Temperaturen über 30 °C stark zunehmen. In den meisten regionalen Klimaszenarien ist der Jahresniederschlag kaum verändert. Jedoch soll sich der Trend zur jahreszeitlichen Ungleichverteilung des Niederschlags fortsetzen. Daher ist auch in Zukunft mit mehr Niederschlag im Winter und weniger im Sommer zu rechnen (IPCC, 2007; WALKENHORST *et al.*, 2009).

Dies kann für die Pflanzen Mitteleuropas bedeuten, dass sie bei höheren Temperaturen und geringerem Niederschlag während der Vegetationsperiode ihren Lebenszyklus abschließen müssen (KNAPP *et al.*, 2008; DREESEN *et al.*, 2012). Durch die prognostizierte weiter steigende Jahresmitteltemperatur ergibt sich für die Pflanzen Mitteleuropas eine verlängerte Vegetationsperiode. In den letzten Jahren traten Ereignisse, wie z. B. die Ankunft von Zugvögeln, das Laichen von Fröschen, der Blattaustrieb und die Baumblüte messbar früher ein und verschoben dadurch den phänologischen Frühlingsanfang (PARMESAN und YOHE, 2003; MENZEL *et al.*, 2006). Allerdings führen höhere Temperaturen während dieser Vegetationsperiode in Kombination mit geringeren Niederschlägen im Sommer vermehrt zu Phasen, in denen die Pflanzen unter Wasserstress leiden. Insbesondere, wenn die sommerlichen Niederschläge als Starkregenereignisse auf den Boden treffen und daher nicht optimal ausgenutzt werden können. Durch Veränderung von Temperatur und Wasserverfügbarkeit sind durch den Klimawandel jedoch auch die für die Keimung wichtigsten Standortfaktoren betroffen (WALCK *et al.*, 2011).

Der Keimungsprozess ist eine entscheidende Phase im Leben einer Pflanze. Eine erfolgreiche Keimung ist der erste Schritt hin zur Reproduktion des Individuums. Da Temperatur und Wasserverfügbarkeit den Keimungsprozess der Samen maßgeblich steuern, können Änderungen dieser Faktoren große Auswirkungen auf die Keimungsrate und damit auf die Etablierung von Pflanzenarten haben (BASKIN und BASKIN, 2001; HEDHLY *et al.*, 2008, WALCK *et al.*, 2011).

Durch die oben beschriebene Ausweitung der Vegetationsperiode können Pflanzenarten mit einem bestimmten Temperaturoptimum für den Keimungsprozess zu einem früheren Zeitpunkt keimen (PARMESAN und YOHE, 2003; MENZEL *et al.*, 2006; MONDONI *et al.*, 2012). Es ist sehr

wahrscheinlich, dass eine Verschiebung des artspezifischen Zeitfensters für die Keimung der Ackerwildkräuter Auswirkungen auf deren gesamten Lebenszyklus und ihre Ökosystemdienstleistungen hat. ALBRECHT (2003) sieht die Ackerwildkräuter auf Grund der hohen Korrelation mit dem Gesamtartenreichtum einer Landschaft als so genannte Schlüsselarten der Biodiversität an und hebt die große ökosystemare Bedeutung der Ackerbegleitflora hervor. Eine zeitliche Verschiebung der Keimung durch höhere Temperaturen ist jedoch nur eine Möglichkeit, wie sich die klimatischen Veränderungen auswirken können. Ein gegenläufiger Effekt könnte entstehen, wenn höhere Temperaturen im Frühjahr auch von geringerem Niederschlag begleitet werden, was wiederum die Keimung unter Umständen weitgehend verhindern würde.

Die Einrichtung eines nachhaltigen Schutzkonzepts für gefährdete Pflanzenarten, wie die Gruppe der Ackerwildkräuter, und deren Schutz auf Landschaftsebene setzen eine verlässliche Prognose ihrer Reaktion auf sich verändernde Standortbedingungen voraus. Vor diesem Hintergrund soll diese Studie dazu beitragen folgende Fragen zu beantworten: i) wie reagieren Ackerwildkräuter im Allgemeinen auf die Veränderungen von Temperatur und Wasserverfügbarkeit während des Keimungsprozess? und ii) gibt es in diesem Zusammenhang einen signifikanten Unterschied zwischen häufigen und seltenen Arten?

Material und Methoden

Ackerwildkräuter haben mehrere typische Eigenschaften, durch die sie sich als eine eigenständige Gruppe abgrenzen lassen. Ein großer Teil der Ackerwildkräuter befindet sich in Mitteleuropa am Rande des Verbreitungsareals. Die meisten Ackerwildkräuter haben ihren Verbreitungsschwerpunkt im submediterranen und mediterranen Raum. Alle Arten haben die Gemeinsamkeit, dass sie nur auf relativ offenen Böden konkurrenzfähig sind und damit in Mitteleuropa eng an die anthropogene Landbewirtschaftung gebunden sind (HOFMEISTER und GARVE, 2006). Nach SCHNEIDER *et al.* (1994) zeichnen sich die Samen der Ackerwildkräuter meist durch ein Stadium der Keimruhe aus. Ihr Lebenszyklus ist überwiegend innerhalb von einem bzw. zwei Jahren abgeschlossen und unter hohen Düngergaben sind viele nicht mehr konkurrenzfähig, insbesondere wegen ihres hohen Lichtbedarfs.

Für diese Studie wurden fünf Paare von Ackerwildkrautarten gewählt (Tab. 1). Ein Paar umfasst jeweils eine häufige und eine seltene Art einer Pflanzenfamilie; damit wird eine phylogenetische Balanciertheit und dadurch eine höhere Aussagekraft der Ergebnisse sichergestellt (GITZENDANNER, 2000). Der Rote Liste Status bezieht sich auf die Rote Liste der gefährdeten Pflanzen in Deutschland (LUDWIG und SCHNITTLER, 1996) und Hessen (BVNH, 2008). Die benötigten Samen für dieses Experiment wurden von einem kommerziellen Saatguthändler bezogen (Rieger und Hoffmann GmbH, Blaufelden-Raboldshausen, Germany).

Mit Hilfe eines faktoriellen Versuchsaufbaus wurden die Effekte Art ($k = 10$) verschachtelt in Status ($k = 2$; häufig vs. gefährdet), Wasserpotential ($k = 5$; 0, -0,3, -0,6, -0,9 und -1,2 MPa) und Temperatur ($k = 2$; 15/5 °C und 20/10 °C) auf den Keimungsprozess untersucht.

Um die definierten Wasserpotentiale einzustellen wurde das osmotische Agens Mannitol benutzt (D-Mannitol, Euro OTC Pharma GmbH, Bönen, Germany). Die oben genannten Wasserpotentiale von -0,3, -0,6, -0,9 und -1,2 MPa wurden mit Manitholkonzentrationen von 0,12, 0,24, 0,36 und 0,48 mol l⁻¹ hergestellt. Destilliertes Wasser wurde als Kontrolle für volle Wasserverfügbarkeit (0 MPa) verwendet. Für jede Faktorkombination wurden fünf Wiederholungen angelegt, was im Gesamten 500 experimentelle Einheiten ergab.

Die experimentellen Einheiten bestanden aus einer sterilen Petrischale mit jeweils 50 Samen auf einem Filterpapier, welches mit 3 mL Mannitollösung oder destilliertem Wasser befeuchtet war. Um den Verlust von Feuchtigkeit durch Evaporation so gering wie möglich zu halten, wurden je fünf Petrischalen gemeinsam in einer Plastiktüte verpackt.

Nach 14 Tagen Stratifikation bei 3 °C ohne Licht in Klimakammern (Rumed type 3401, Rubarth Apparate GmbH) wurden die präparierten Petrischalen in Klimakammern mit

Wechseltemperaturen (Tag/Nacht) von 15/5 °C and 20/10 °C gestellt. Das Lichtregime wurde auf einen Tag-Nacht-Zyklus von 16 h hell und 8 h dunkel festgelegt (ОТТЕ, 1996). Die Schalen wurden zweimal pro Woche kontrolliert. Samen galten als gekeimt, wenn die Keimwurzel sichtbar war. Diese Keimlinge wurden bei jeder Kontrolle gezählt und dann entfernt. Nach fünf Wochen trat nahezu keine Keimung mehr auf und das Experiment wurde beendet.

Vor der statistischen Analyse wurde zunächst eine ArcSin-Transformation der Daten durchgeführt, um Varianzhomogenität und eine Normalverteilung der Residuen zu erreichen. Beides sind Voraussetzungen für die Durchführung der Varianzanalyse (QUINN und KEOUGH, 2002). Mit diesen transformierten Daten wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit dem Faktor „Familie“ durchgeführt, um eventuelle phylogenetische Effekte zwischen den Pflanzenfamilien zu berücksichtigen. Alle weiteren Auswertungen wurden dann mit den berechneten Residuen dieser ANOVA vorgenommen. Die Haupteffekte und Interaktionen der Faktoren Art, Status, Temperatur und Wasserpotential wurden daraufhin mit einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse berechnet. Um die Signifikanz paarweiser Mittelwertvergleiche der ausgewählten Interaktionen zu überprüfen, wurde ein Post-hoc-Tukey-Test mit Signifikanzniveaus von $\alpha = 0,1 \%$, 1% und 5% durchgeführt. Die erhobenen Daten wurden mit dem Programm STATISTICA 10 (StatSoft Inc.) ausgewertet.

Für jede experimentelle Einheit wurde der Parameter Gesamtkeimung in % bestimmt (RANAL *et al.*, 2006). Die Gesamtkeimung ist der Prozentsatz der gekeimten Samen im Verhältnis zur Anzahl ausgesäter Samen (hier 50).

Tab. 1 Untersuchte Arten mit Zuordnung der Pflanzenfamilie und des Rote Liste Status (Rote Liste der gefährdeten Pflanzen in Deutschland, bzw. Hessen*): V = Vorwarnliste, 1 = gefährdet, 3 = vom Aussterben bedroht). Die Vitalität wurde mittels eines Tetrazolium-Tests bestimmt.

Tab. 1 Study species dedicated to their plant family and their Red List Status.

Art	Familie	Rote Liste Status	Vitalität [%]
<i>Anthemis arvensis</i>	Asteraceae	häufig	94
<i>Glebionis segetum</i>		gefährdet (V)	92
<i>Campanula rapunculoides</i>	Campanulaceae	häufig	86
<i>Legousia speculum-veneris</i>		gefährdet (3)	94
<i>Silene latifolia</i>	Caryophyllaceae	häufig	88
<i>Silene noctiflora</i>		gefährdet (V)	90
<i>Papaver rhoeas</i>	Papaveraceae	häufig	88
<i>Papaver argemone</i>		gefährdet (V*)	96
<i>Daucus carota</i>	Apiaceae	häufig	92
<i>Bupleurum rotundifolium</i>		gefährdet (1)	98

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtkeimung sehr stark von den Faktoren Art, Status, Temperatur und Wasserpotential abhängt, da die geschachtelte ANOVA für alle Effekte und fast alle Zwischeneffekte hohe Signifikanzen ausweist (Tab. 2). Das Wasserpotential erklärt mit 64,5 % den größten Teil der gemessenen Unterschiede in der Gesamtkeimung. Selbst der Faktor Art zeigt mit 7,9 % nur einen mäßigen Einfluss. Der Rote Liste Status trägt mit 1 % nur sehr gering zur Erklärung der Varianzen bei, der Effekt ist aber trotzdem signifikant. Es ist hervorzuheben, dass der Status einen größeren Teil der Varianz erklärt, als die hier gewählten Temperaturunterschiede während des Keimungsprozesses; diese erklären nur 0,5 %. Entsprechend der Stärke der einzelnen Effekte sind auch die Interaktionen von unterschiedlicher Bedeutung. Am stärksten wirken sich die Zwischeneffekte von Art und Wasserpotential aus (16,2 %). Gemeinsam mit der Interaktion von Status und Wasserpotential werden damit fast 18 % der Varianz des Keimungsergebnisses erklärt.

Die Wasserverfügbarkeit hat somit einen großen Einfluss auf den Keimungsprozess. Darüber hinaus besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Reaktion auf unterschiedliche Wasserverfügbarkeit und dem Gefährdungstatus einer Art (Abb. 1). Keimen bei optimaler Wasserversorgung die seltenen Ackerwildkräuter noch tendenziell besser, so kehrt sich dieser Trend mit abnehmendem Wasserpotential um. Signifikant ist der Unterschied bei Wasserpotentialen von -0,6 (Signifikanzniveau $\alpha = 0,1\%$) und -0,9 MPa (Signifikanzniveau $\alpha = 1\%$). Damit zeigen die seltenen Ackerwildkräuter eine deutlich stärkere Reaktion auf Wasserstress als die häufigen Ackerwildkräuter. Bei weiter abnehmender Wasserverfügbarkeit ist der Keimungserfolg der Samen von fast allen Arten so gering, dass kein messbarer Unterschied zwischen seltenen und häufigen Arten mehr auftritt.

Der hohe Wert für die Interaktionen zwischen Art und Wasserpotential wird durch die Variabilität des artspezifischen Keimungsverhaltens erklärt. So reagiert die häufige Art *Campanula rapunculoides* unempfindlich gegenüber Änderungen des Wasserpotentials und zeigt bei höheren Temperaturen auch höhere Keimraten. Unabhängig von der Temperatur reagiert die seltene Art *Legousia speculum-veneris* mit gleichmäßig abnehmender Keimung bei abnehmender Wasserverfügbarkeit. Die seltene Art *Bupleurum rotundifolium* wiederum zeigt eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Wasserstress. Der Keimungserfolg reduziert sich hier bereits bei leichter Reduktion der Wasserverfügbarkeit auf -0,3 MPa um ca. 50 %. Gleichzeitig weist sie bei der Keimung eine starke Affinität zu kühleren Temperaturen auf, so keimt sie bei optimaler Wasserversorgung um ca. 12 % besser bei 5/15 °C als bei 10/20 °C. Dagegen keimt die häufige Art *Daucus carota* bei guter Wasserversorgung und hohen Temperaturen um 10 % besser als bei niedrigen und reagiert auch auf eine reduzierte Wasserversorgung weniger empfindlich. Ein ähnliches Muster zeigt auch die regelmäßig vorkommende Art *Anthemis arvensis*.

Tab. 2 Ergebnisse der ANOVA für die Variable „Gesamtkeimung (%)“ mit den Effekten von Art verschachtelt in Status, Temperatur und Wasserpotential; vc (%) zeigt den relativen Anteil der Faktoren und ihrer Interaktionen an der Gesamtvarianz.

Tab. 2 Results of the nested ANOVA for the variable "germination (%)" with the effects of species nested in state, temperature and water potential; vc (%) shows relative contribution of individual factors and their interactions to total variance.

	df	F	p	vc (%)
Konstante	1	0,000	1,000	
Art (Status) [A(St)]	8	81	< 0,001	7,9
Status [St]	1	82,7	< 0,001	1,0
Temperatur [T]	1	37,4	< 0,001	0,5
Wasserpotential [WP]	4	1324,5	< 0,001	64,5
A (St) x T	8	16,5	< 0,001	1,6
A (St) x WP	32	41,7	< 0,001	16,2
St x WP	4	33,4	< 0,001	1,6
St x T	1	0,4	0,521	0,0
T x WP	4	4,2	0,002	0,2
St x T x WP	8	1,6	0,183	0,1
A (St) x T x WP	32	3,9	< 0,001	1,5
Fehler	400			4,9

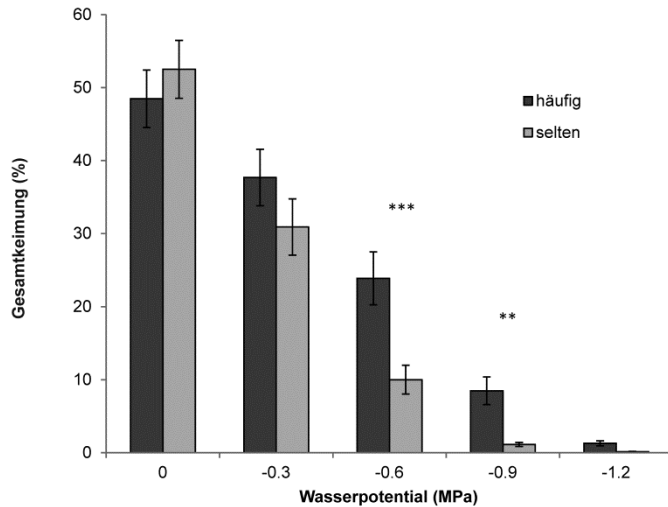


Abb. 1 Gesamtkeimung [%] in Abhängigkeit von Rote-Liste-Status und Wasserpotential (WP). Originaldaten unter Angabe des Standardfehlers. Signifikanzen zwischen seltenen und häufigen Arten innerhalb der Wasserpotentialstufen sind mit Sternchen gekennzeichnet: *** Signifikanzniveau $\alpha = 0,1\%$, ** Signifikanzniveau $\alpha = 1\%$.

Fig. 1 Effects of Red List Status and water potential (WP) on germination [%]. Original data with standard error. Statistical significant differences within each water potential level are marked with asterisks: *** level of signification $\alpha = 0,1\%$, ** $\alpha = 1\%$

Sie keimt stets besser bei höheren Temperaturen (39 % höhere Gesamtkeimung über alle Wasserpotentialstufen) und ihre Keimung nimmt gleichmäßig mit Abnahme des Wasserpotentials ab. Die seltene Art *Glebionis segetum* verhält sich dagegen indifferent gegenüber den gewählten Temperaturen, zeigt aber die gleiche progressive Abnahme der Gesamtkeimung bei abnehmender Wasserverfügbarkeit. *Silene noctiflora* keimt ebenfalls eindeutig besser bei hohen Temperaturen (37 % höhere Gesamtkeimung). Diese Präferenz zeigt sich insbesondere bei abnehmendem Wasserpotential. Bei Temperaturen von 10/20 °C keimt diese Art bei einem Wasserpotential von -0,6 MPa noch zu 45,6 %, während sie bei der gleichen Wasserverfügbarkeit und Temperaturen von 5/15 °C nur noch eine Gesamtkeimung von 1,6 % aufweist. Sinkt das Wasserpotential jedoch auf -0,9 MPa, so findet unabhängig von der Temperatur nahezu keine Keimung mehr statt. Auch *Silene latifolia* zeigt ein ähnliches Muster, allerdings ist hier die Bevorzugung der hohen Temperaturen für die Keimung nicht so stark ausgeprägt.

Diskussion

Die vorliegende Studie lässt auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Gefährdungsstatus einer Art und deren Reaktion auf abnehmende Wasserverfügbarkeit im Boden schließen. Die Ergebnisse zeigen, dass seltene Ackerwildkrautarten mit einer stärkeren Abnahme der Keimung bei abnehmendem Wasserpotential reagieren als häufige Arten. Dieses Muster lässt die Aussage zu, dass seltene Ackerwildkräuter empfindlicher auf eine Veränderung der Wasserverfügbarkeit im Zuge des Klimawandels reagieren werden. Daher ist anzunehmen, dass diese Artengruppe von der vorhergesagten klimatischen Entwicklung in Mitteleuropa besonders stark betroffen sein wird. Denn nicht nur der Keimungsprozess, auch die Keimlingsetablierung hängt wesentlich von der Wasserverfügbarkeit ab. So führt ein niedriges Wasserpotential zu einer verzögerten Keimung mit verringerter Wuchshöhe des Keimlings und einer kürzeren Keimwurzel. Dadurch sind diese Keimlinge wiederum anfälliger für Trockenheit (AKHALKATSI und LÖSCH, 2001).

Auch in einer Studie von ECKSTEIN (2005) wird die Bedeutung der Wasserverfügbarkeit hervorgehoben. Hier wurde gezeigt, dass die Keimlingsetablierung in verschiedenen Graslandtypen trotz bestehender Unterschiede bezüglich Artenreichtum, Wuchshöhe und Bestand maßgeblich von der Wasserversorgung abhängt.

Neben der Wasserverfügbarkeit hat auch der Standortfaktor Temperatur einen großen Einfluss auf Pflanzen, da sie den Keimungszeitpunkt auf die Jahreszeit mit günstigen Umweltbedingungen für den Keimling abstimmt (COCHRANE, 2011). Die Bedeutung der Temperatur während der Keimungsphase und die damit einhergehende Anfälligkeit von Pflanzen in dieser Entwicklungsphase für Folgen des Klimawandels, heben verschiedene Studien hervor. So beschreiben HEDHLY *et al.* (2008) die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf Kulturpflanzen mit abnehmenden Ernteerträgen. Besonders starken Veränderungen ist die Vegetation in alpinen Regionen ausgesetzt. Nach MONDONI *et al.* (2012) können zunehmend hohe Herbsttemperaturen zu spontaner Keimung mancher Gebirgspflanzenart führen, die dann bei eintretendem Frost mit einem nahezu vollständigen Absterben der Keimlinge einhergeht. Sogar der Keimungserfolg der Nachkommen einer Pflanze, die während einer ungünstigen Jahreszeit gekeimt ist, kann beeinflusst werden. Unterschiedliches Keimungsverhalten von im Herbst bzw. Frühling produzierten Samen konnte für *Capsella bursa-pastoris* (BASKIN *et al.*, 2004) und *Sinapis arvensis* (MENNAN und NGUAIJO, 2006) nachgewiesen werden.

Auch in der vorliegenden Studie zeigt sich der Einfluss der Temperatur auf das Keimungsverhalten der Versuchsarten deutlich. Durch die Wahl der zwei unterschiedlichen Wechseltemperaturen für den Keimungsversuch konnte für die einzelnen Arten eine klare Tendenz gezeigt werden, ob sie besser bei hohen Temperaturen (10/20 °C) oder besser bei niedrigen Temperaturen (5/15 °C) keimen. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Temperatur und Gefährdungsstatus konnte hier jedoch nicht nachgewiesen werden. Dies kann darauf hinweisen, dass die untersuchten annuellen Arten in der Lage sind, elastisch auf Temperaturveränderungen zu reagieren. Die Bedeutung der Temperatur und die Elastizität hinsichtlich dieses Faktors während der Keimungsphase von Ackerwildkräutern wurden von OTTE (1994; 1996) eingehend untersucht und verdeutlicht. Demnach hat sich die Temperaturspanne für die Keimung von vielen Ackerwildkräutern zwischen 1948 und 1990 unter der veränderten Landnutzung deutlich erweitert bzw. verschoben.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die von MENZEL *et al.* (2006) beobachtete Ausweitung der Vegetationsperiode keinen positiven Einfluss auf das Vorkommen seltener Ackerbegleitflora hat, da die Bewirtschaftungsmaßnahmen an die phänologische Entwicklung der Kulturpflanzen gekoppelt sind und sich somit der von OTTE (1996) beschriebene Faktorenkomplex von Auflaufzeitpunkt der Ackerwildkräuter und Herbizideinsatz nicht verändert. Von einer durch klimatische Veränderungen bedingten längeren Vegetationsperiode profitieren v. a. die Ackerwildkräuter, welche sich auch bisher an die Standortveränderungen durch die Intensivierung der Landnutzung anpassen konnten. Dies sind v. a. im Herbst keimende, konkurrenzstarke Arten, die in der Lage sind auf nährstoffreichen Böden mit dichten Kulturpflanzenbeständen zu wachsen (HYVONEN *et al.*, 2003; HAWES *et al.*, 2005; 2010). Denn die Bestandssituation von Ackerwildkrautarten hängt nach OTTE *et al.* (2006) nicht nur von günstigen Keimungsvoraussetzungen ab. Vielmehr spielen die allgemeinen Anforderungen an die Standorteigenschaften eine Rolle, damit sich die Ackerwildkräuter erfolgreich bis zur Samenreife entwickeln können. Die Bedeutung der Bewirtschaftung unterstreicht auch eine Studie von ALBRECHT (2005). Hier konnte gezeigt werden, dass insbesondere die sommerannuellen Ackerwildkrautarten von einer ökologischen Bewirtschaftung profitieren. Denn bei dieser Bewirtschaftungsweise findet z.B. mechanische Unkrautregulierung anstelle von Herbizideinsatz statt. Weiterhin beeinflusst die Fruchtfolge mit einem größeren Anteil an Blattfrüchten und Sommergetreide das Vorkommen seltener Arten dieser Gruppe positiv. Für *Viola arvensis* konnte eine Anpassung an die moderne Landwirtschaft durch eine erweiterte Amplitude der Keimungstemperatur und eine erhöhte Samenproduktion nachgewiesen werden. Dadurch kann diese Art zeitliche Lücken zwischen Herbizidanwendungen,

Ernte und Bodenbearbeitung nutzen (SCHUBERT *et al.*, 2003). Die Bedeutung der Interaktionen von Klimawandel und Landnutzungswandel wird von BÜTOF *et al.* (2012) auch für die Artenvielfalt von Grünland hervorgehoben. So können sich die Reaktionen einzelner Grünlandarten auf veränderte klimatische Bedingungen in Abhängigkeit der Bewirtschaftung stark voneinander unterscheiden.

Bei der Entwicklung von Schutzkonzepten für gefährdete Arten der Agrarlandschaften Mitteleuropas müssen daher die Auswirkungen von Landnutzungswandel und Klimawandel gemeinsam betrachtet werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Klimawandel den durch den Landnutzungswandel hervorgerufenen Rückgang vieler Ackerwildkrautarten weiter verstärken wird. Da die Folgen des Klimawandels für die Ackerwildkräuter nicht direkt aufzuhalten sind, sollte der Fokus der Schutzbemühungen auf Maßnahmen liegen, die die negativen Auswirkungen des Landnutzungswandels ausgleichen. Das Ziel dieser Bemühungen sollte die Erhaltung dieser Arten auf Landschaftsebene sein. Kommt eine Art nur noch vereinzelt in kleinen und isolierten Populationen vor ist die Gefahr durch lokale negative Ereignisse, wie z. B. Erosion durch Starkregen, Dürreperioden oder menschliche Baumaßnahmen, ausgelöscht zu werden deutlich größer (THULLER, 2005). Bei kleinflächigen und isolierten Vorkommen von Ackerwildkrautarten besteht außerdem die Gefahr, dass diese bei Änderung der lokalen klimatischen Bedingungen kaum auf dann geeignete Standorte ausweichen können. Nur durch eine möglichst flächendeckende Förderung dieser Arten kann dem regional unterschiedlichen Ausmaß der klimatischen Veränderungen und dem damit verbundenen unterschiedlichen Anpassungsdruck auf die Vegetation begegnet werden.

Danksagung

Wir danken Alejandro Loydi für die freundliche Unterstützung während der Datenverarbeitung und Kristin Ludewig für die hilfreichen Kommentare zum Manuskript. Weiterhin möchten wir uns bei Josef Scholz vom Hofe, Lena Kretz und Laura Satkowski für die Hilfe bei der Datenerhebung im Labor bedanken. Diese Arbeit wurde durch ein Graduiertenstipendium der Justus-Liebig-Universität Gießen ermöglicht.

Literatur

- AKHALKATSI, M. und R. LÖSCH, 2001: Changes in water relations, solute leakage and growth characters during seed germination and seedling development in *Trigonella coerulea* (Fabaceae). *J. Appl. Bot.-Angew. Bot.* **75**, 144-151.
- ALBRECHT, H., 1995: Changes in the arable weed flora of Germany during the last five decades. *Proceedings of the Ninth European Weed Research Society Symposium on Challenges for Weed Science in a Changing Europe*, Budapest, 41-48.
- ALBRECHT, H., 2003: Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agric. Ecosys. Environ.* **98**, 201-211.
- ALBRECHT, H., 2005: Development of arable weed seedbanks during the 6 years after the change from conventional to organic farming. *Weed Res.* **45**, 339-350.
- BASKIN, C.C. und J.M. BASKIN, 2001: *Seeds - Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego.
- BASKIN, C.C., P. MILBERG, L. ANDERSSON und J.M. BASKIN, 2004: Germination ecology of the annual weeds *Capsella bursa-pastoris* and *Descurainia sophia* originating from high northern latitudes. *Weed Research* **44**, 60-68.
- BÜTOF, A., L.R. VON RIEDMATTEN, C.F. DORMANN, M. SCHERER-LORENZEN, E. WELK und H. BRUEHLHEIDE, 2012: The responses of grassland plants to experimentally simulated climate change depend on land use and region. *Glob. Change Biol.* **18**(1), 127-137.
- BRÜTTING C., K. WESCHE, S. MEYER und I. HENSEN, 2012: Genetic diversity of six arable plants in relation to their Red List status. *Biodivers. Conserv.* **21**, 745-761.
- BVNH, 2008: Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Hessens, 4. Fassung, Erstellt von der Arbeitsgruppe "Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Hessens" der Botanischen Vereinigung für Naturschutz in Hessen e. V. (BVNH) im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV). [<http://www.bvnh.de/RoteListe/RL-HE4.html>], Mai 2012
- COCHRANE, A., M.I. DAWS und F.R. HAY, 2011: Seed-based approach for identifying flora at risk from climate warming. *Austral Ecol* **36**, 923-935.
- DREESSEN, F., H.J. DE BOECK, I.A. JANSSENS und I. NIJS, 2012: Summer heat and drought extremes trigger unexpected changes in productivity of a temperate annual/biannual plant community. *Environ. Exp. Bot.* **79**, 21-30.
- ECKSTEIN, R.L., 2005: Differential effects of interspecific interactions and water availability on survival, growth and fecundity of three congeneric grassland herbs. *New Phytol.*, **166**(2), 525-536.
- ELLENBERG, H. und C. LEUSCHNER, 2010: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 6. Auflage. Ulmer, Stuttgart.

- FRIED, G., L.R. NORTON und X. REBOUD, 2008: Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agric. Ecosys. Environ.* **128**, 68–76.
- GEROWITT, B., 2003: Development and control of weeds in arable farming systems. *Agr. Ecosys. Environ.* **98**, 247–254.
- GITZENDANNER, M.A. und P.S. SOLTIS, 2000: Patterns of genetic variation in rare and widespread plant congeners. *Am. J. Bot.* **87**(6), 783-792.
- HAWES, C., G.R. SQUIRE, P.D. HALLETT, C.A. WATSON und M. YOUNG, 2010: Arable plant communities as indicators of farming practice. *Agric. Ecosys. Environ.* **138**, 17–26.
- HAWES, C., G. BEGG, G.R. SQUIRE und P. IANNETTA, 2005: Individuals as the basic accounting unit in studies of ecosystem function: functional diversity in *Capsella* (shepherd's purse). *Oikos* **109**, 521–534.
- HEDELY, A., J.I. HORMAZA und M. HERRERO, 2008: Global warming and sexual plant reproduction. *Trends Plant Sci.* **14**(1), 30-36.
- HOFMEISTER, H. und E. GARVE, 2006: Lebensraum Acker. Reprint der 2. Auflage – Remagen.
- HYVONEN, T., E. KETOJA, J. SALONEN, H. JALLI und J. TIAINEN, 2003: Weed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals. *Agric. Ecosyst. Environ.* **97**, 131–149.
- IPCC, 2007: Observations: surface and atmospheric climate change. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- KNAPP, A.K., C. BEIER, D.D. BRISKE, A.T. CLASSEN, Y. LUO, M. REICHSTEIN, M.D. SMITH, S.D. SMITH, J.E. BELL, P.A. FAY, J.L. HEISLER, S.W. LEAVITT, R. SHERRY, B. SMITH und E. WENIG, 2008: Consequences of More Extreme Precipitation Regimes for Terrestrial Ecosystems. *BioScience* **58**(9), 811-821.
- LUDWIG, G. und M. SCHNITTLER, 1996: Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. Schriftenreihe für Vegetationskunde **28**, Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg.
- MATSON, P.A., W.J. PARTON, A.G. POWER und M.J. SWIFT, 1997: Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* **277**, 504–509.
- MENNAN, H. und M. NGUAIJO, 2006: Seasonal cycles in germination and seedling emergence of summer and winter populations of catchweed bedstraw (*Galium aparine*) and wild mustard (*Brassica kaber*). *Weed Science* **54**, 114-120.
- MENZEL, A., T.H. SPARKS, N. ESTRELLA, E. KOCH, A. AASA, R. AHAS, K. ALM-KÜBLER, P. BISSOLLI, O. BRASLABSKÁ, A. BRIEDE, F.M. CHMIELEWSKI, Z. CREPINEK, Y. CURNEL, A. DAHL, C. DEFILA, A. DONNELLY, Y. FILELLA, K. JATCZAK, F. MAGE, A. MESTRE, O. NORDLI, J. PENUELAS, P. PIRINEN, V. REMISOVA, H. SCHEIFINGER, M. STRIZ, A. SUSNIK, A.J.H. VAN VLIET, F.-E. WIELGOLASKI, S. ZACH und A. ZUST, 2006: European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob. Change Biol.* **12**, 1969–1976.
- MEYER, S., C. LEUSCHNER und T. VAN ELSEN, 2008: Sanctuaries for the segetal vegetation in Germany – inventory and new impulses by the project „Biodiversity in agricultural landscapes“. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue* **21**, 363-368.
- MEYER, S., K. WESCHE, C. LEUSCHNER, T. VAN ELSEN und J. METZNER, 2010: Schutzbemühungen für die Segetalflora in Deutschland – Das Projekt „100 Äcker für die Vielfalt“. *Treffpunkt Biologische Vielfalt*, Hrsg.: Bundesamt für Naturschutz, Bonn, Issue **9**, 59-64.
- MONDONI, A., G. ROSSI, S. ORSENIGO und R.J. PROBERT, 2012: Climate warming could shift the timing of seed germination in alpine plants. *Ann. Bot.-London* **110**, 155-164.
- OTTE, A., 1994: Die Temperaturansprüche von Ackerwildkräutern bei der Keimung – auch eine Ursache für den Wandel im Artenspektrum auf Äckern. *Aus Liebe zur Natur* **5**, 103-122.
- OTTE, A., 1996: Population biological parameters to classify annual weeds. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue* **14**, 45-60.
- OTTE, A., S. BISSELS und R. WALDHARDT, 2006: Samen-, Keimungs- und Habitateigenschaften: Welche Parameter erklären Veränderungstendenzen in der Häufigkeit von Ackerwildkräutern in Deutschland? *J. Plant Dis. Protect., Special Issue* **20**, 507-516.
- PARMESAN, C. und G. YOHE, 2003: A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**(6918), 37-42.
- PETERS, K. und B. GEROWITT, 2012: How might climate change alter the interactions between weeds and crops? 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control 2012, Braunschweig, Germany. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 2012.
- QUINN, G.P. und M.J. KEOUGH, 2002: *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press.
- RANAL, M.A. und D.G. DE SANTANA, 2006: How and why to measure the germination process? *Rev. Bras. Bot.* **29**,1-11.
- SCHNEIDER, C., U. SUKOPP und H. SUKOPP, 1994: Biologisch-ökologische Grundlagen des Schutzes gefährdeter Segetalpflanzen. Schriftenreihe für Vegetationskunde 26, Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg.
- SCHUBERT, P., R. WALDHARDT und A. OTTE, 2003: Der Einfluss unterschiedlicher Nutzungsgeschichte auf die Fitness von *Viola arvensis* MURR. *Nova Acta Leopoldina* NF 87, Nr. **328**, 389-394.
- STORKEY, J., S. MEYER, K. S. STILL und C. LEUSCHNER, 2011: The impact of agricultural intensification and land-use change on the European arable flora. *Proceedings of The Royal Society, Biological Sciences*.
- SUTCLIFFE, O.L. und Q.O.N. KAY, 2000: Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s. *Biol. Conserv.* **93**(1), 1-8.
- THUILLER, W., S. LAVOREL, M.B. ARAUJO, M.T. SYKES und I.C. PRENTICE, 2005: Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **102**(23), 8245-8250.
- WALCK, J.L., S.N. HIDAYATI, K.W. DIXON, K. THOMPSON und P. POSCHLOD, 2011: Climate change and plant regeneration from seed. *Glob. Change Biol.* **17**, 2145-2161.

26th German Conference on weed Biology an Weed Control, March 11-13, 2014, Braunschweig, Germany

WALKENHORST, O. und M. STOCK, 2009: Regionale Klimaszenarien für Deutschland – Eine Leseanleitung. E-Paper der ARL (Akademie für Raumforschung und Landesplanung) Nr. 6, Hannover.

Genotypic diversity and clonal structure of *Erigeron annuus* (Asteraceae) in Lithuania

Genetische Vielfalt und Klonstruktur von *Erigeron annuus* (Asteraceae) in Litauen

Virginija Tunaitienė^{1*}, Jolanta Patamsytė¹, Tatjana Čėsniienė¹, Violeta Kleizaitė¹, Donatas Naugžemys², Vytautas Rančelis¹ and Donatas Žvingila¹

¹Department of Botany and Genetics, Vilnius University, M. K. Čiurlionio 21, Vilnius, Lithuania

²Botanical Garden of Vilnius University, Kairėnų 43, Vilnius, Lithuania

*Corresponding author, virginija.tunaitiene@gf.vu.lt



DOI 10.5073/jka.2014.443.023

Abstract

This study was conducted to assess the clonal structure and genetic diversity of alien herbaceous plant species *Erigeron annuus*. The global warming and changes in agriculture practice in the past few decades were favourable for the expansion of this species in Lithuania. We used RAPD and ISSR assays to assess genetic variation within and among 29 populations of *E. annuus*. A total of 278 molecular markers were revealed. Our study detected reduced level of genetic diversity of invasive populations of *E. annuus*. Significant differences in DNA polymorphism among populations of *E. annuus* were also found. Some populations of this species are composed of genetically identical plants, while others were polymorphic. Clonal diversity of study populations ranged from 0.083 to 0.4 for both DNA marker systems. The Simpsons diversity index values ranged from 0.0 to 0.636. The average number of genotypes per population established using both assays was about 1.7. Out of 328 *E. annuus* individuals only 16 showed unique RAPD and 14 unique ISSR banding patterns. The remaining plants were clones of different size. The most common genotype of *E. annuus* identified in our study was represented by predominate in nine populations.

Keywords: Clonal structure, DNA markers, *Erigeron annuus*, invasive plants, ISSR, RAPD

Zusammenfassung

Die Untersuchungen verfolgen das Ziel, die genetische Struktur der nicht-einheimischen Pflanzenart *Erigeron annuus* auszuwerten. Globale Erwärmung sowie Veränderungen in der landwirtschaftlichen Praxis der letzten Jahrzehnte waren bedeutsam für die Verbreitung dieser Art in Litauen. Für die Feststellung der genetischen Verteilungsvielfalt in den 29 *E. annuus* Populationen haben wir uns der RAPD und ISSR -Methoden bedient. Insgesamt wurden 117 RAPD - und 161 ISSR - Loci festgelegt. Die Untersuchungen haben die verringerte genetische Vielfalt der *E. annuus* Populationen aufgezeigt. Außerdem wurden bedeutende DNR polymorphe Unterschiede zwischen *E. annuus* Populationen angetroffen. Einige Populationen dieser Art bestanden aus genetisch identischen Pflanzen, während die anderen polymorphem waren. Die Klonvielfalt der untersuchten Populationen schwankte zwischen 0.083 und 0.4 bei der Verwendung von beiden DNR-Signifikanten. Die durchschnittliche Genotypen Zahl in der Population betrug etwa 1.7 bei der Verwendung von beiden Signifikanten. Nach der Untersuchung der 328 *E. annuus* Individuen wurden 16 unikale RAPD - und 14 unikale ISSR - Phänotypen festgestellt. Die übriggebliebenen Pflanzen waren Klone von unterschiedlicher Größe. Der am meisten verbreitete *E. annuus* Genotyp wurde in neun Populationen ermittelt.

Stichwörter: DNS- Marker, *Erigeron annuus*, ISSR, Klonstruktur, invasive Pflanzen, RAPD

Introduction

Daisy fleabane (*Erigeron annuus* (L.) Pers.) is a winter annual invasive plant species which was introduced from North America into Europe in the 17th century (EDWARDS *et al.*, 2006). Now it is one of the 150 most widespread alien plant species in Europe (LAMBTON *et al.*, 2008). In the native range this species is an inhabitant of tall grass prairies, while in the new area it is abundant on roadsides and ruderal places (TRTIKOVA *et al.*, 2011). *E. annuus* is triploid apomictic plant, which forms embryos through meiotic diplospory (MCDONALD, 1927; STRATTON, 1991). Production of apomictic seeds is one of mechanisms of clonal reproduction (CHUNG *et al.*, 2006). Some populations, however, show rather high polymorphism and contain local genotypes, suggesting that sexual reproduction does occur occasionally (EDWARDS *et al.*, 2006; TRTIKOVA *et al.*, 2011). Asexual reproduction may be favorable for spread of *E. annuus*, because it allows establishing populations from a single

propagule and may also maintain genotypes with broad environmental tolerance, called according to BAKER (1965) 'general purpose' genotypes. *E. annuus* achieved Lithuania probably from Western Europe at the end of the 19th century, i. e. more than two hundred years later than some regions of west Europe. Here it was introduced as ornamental plant. A few decades later according to botanical literature it invaded natural ecosystems (MOWSZOWICZ, 1939). Now this species is in a phase of intensive spread, which started in Lithuania few decades ago. Expansion of *E. annuus* as other neophytes might be promoted by global warming (prolonged vegetation season, rise of minimal temperatures) and anthropogenic factors, such as changes in agriculture practice in the past few decades, increasing international trade, extension of urban area (SCHMITZ *et al.*, 2010; ZYBARTAITE *et al.*, 2011). *E. annuus* in Lithuania is generally found in roadsides, abandoned fields, ruderal places, and lawns, near lakes, rivers and as weed in towns of the southern and southern-eastern regions. Asexual mode of reproduction implies the existence of clonal structure in populations of apomictic plants and low genetic diversity (LOVELESS and HAMRICK, 1984). However numerous studies have confirmed the existence of many multilocus genotypes in populations of apomictic plants (VAN DER HULST *et al.*, 2003). *E. annuus* is an example of species possessing clonality and sexual reproduction. Investigations using RAPD markers revealed a high diversity at the level of the RAPD phenotypes in North American and West European populations (EDWARDS *et al.*, 2006). RAPD and AFLP markers have been used to study genetic diversity, population structure and local adaptation of *E. annuus* in the Swiss Alps (TRTIKOVA *et al.*, 2011). Edwards *et al.* (2006) supposed that most of the genotypes now present in Europe have been produced through sexual reproduction that has occurred since its arrival. Despite of this, several common RAPD phenotypes were also found on both continents. EDWARDS *et al.* (2006) also suggested that certain genotypes of *E. annuus* have a much stricter agamospermy than others. The possibility to reproduce sexually and asexually and invade new area makes this species very interesting model plant for adaptation studies. Because this species achieved Lithuania later, than west and central Europe countries, it is interesting to know if this had some influence on the clonal diversity and species genetic structure. Furthermore, the study of molecular variation of *E. annuus* is important for understanding the invasion process of apomictic plants and for management of invasive populations in new area.

So, the present study was carried out to study clonal structure and to determine the extent of molecular variation and distribution of molecular phenotypes in invasive populations of *E. annuus* in Lithuania.

Material and Methods

Plants of *E. annuus* were collected from 29 *E. annuus* sites and were considered as representatives of 29 populations (Užutrakis, Giedraičiai, Vilnius A, Naujasis Janavas, Vilnius B, Pagiriai A, Roduka, Daniliškės, Marijampolė, Pagiriai B, Naujoji Vilnia, Bezdonys, Gelgaudiškis, Kėdainiai, Jurbarkas, Vilnius C, Lielius, Babtai, Vilnius D, Kulautuva, Kalvarija, Mikytai, Betygala, Kavarskas, Svėdasai, Kamajai, Kena, Mažeikiai, Pervalka). A total of 328 plants were sampled. From 5 to 12 plants were collected from each population. The highest density of this invasive plant is concentrated in southern and south-eastern part of country. For this reason the considerable part of study populations are from this region.

DNA was extracted from fresh leaves using cethyl-trimethyl-amonium bromide (CTAB) (DOYLE and DOYLE, 1990). RAPD and ISSR analyzes were performed as described in PATAMSYTE *et al.* (2011). All reactions were repeated at least twice. A negative control PCR without DNA template was carried out in each amplification. The selection of primers for reproducibility and polymorphism of DNA profiles was performed before analysis of all material on the 10 samples from different populations. Primers generating complex or weak profiles were discarded. Amplifications were resolved on a 1.5% agarose gel (4 h, 4 V/cm), stained with ethidium bromide and photographed using BioDocAnalyse system.

The presence of the DNA fragment (allele) was represented with "1" and the absence was represented with "0". Clonal diversity of populations was assessed according frequently used two parameters: G/N – clonal diversity, where G – the number of genets and N is the total number of individuals sampled and D – Simson's diversity index (ELLSTRAND and ROOSE, 1987; 2003; DEV *et al.*, 2010). Genetic diversity was analyzed at population and species level. The percentage of polymorphic loci (P), population genetic differentiation coefficient (G_{ST}) (NEI, 1973) were calculated using POPGENE v. 1.31 software (YEH *et al.*, 1999). Analysis of molecular variance (AMOVA), significance of Φ_{PT} values using permutation test with 999 permutations, was carried out using GenAlEx v. 6.4 (PEAKALL and SMOUSE, 2006).

Results

In the present study we used RAPD and ISSR markers to study genetic diversity and clonal structure of *E. annuus*. Amplified bands were scored in a size range from 440 to 2200 bp. A total of 117 reproducible RAPD and 161 ISSR bands were detected in the 328 individuals at the species level using preselected 4 RAPD and 5 ISSR primers. The polymorphism of RAPD markers at the species level was $60.5 \pm 8.2\%$ and ISSR markers – $71.7 \pm 9.2\%$ (Tab. 1).

Tab. 1 Primers used in the RAPD and ISSR analyses of *E. annuus*, size, number and polymorphism of DNA markers.

Tab. 1 Die in der *E. annuus* RAPD- und ISSR-Analyse verwendeten Primer, Größe, Zahl und Polymorphismus der identifizierten Loci.

Primer	Sequence 5'→3'	Size of DNA fragments (bp)	Number of DNA bands		P, %
			Total	Polymorphic	
RAPD					
Roth-A 03	AGTCAGCCAC	460-1700	29	15	51.7
Roth-A 04	AATCGGGCTG	440-1900	30	19	63.3
Roth-A 05	AGGGGTCTTG	440-2100	29	16	55.2
Roth-A 07	GAAACGGGTG	560-2100	29	20	70.0
		Sum	117	70	
		Average	29.3±0.5	17.5±2.4	60.5±8.2
ISSR					
ISSR_O	GAG(CAA) ₅	620-2200	36	29	80.6
ISSR_B	(AG) ₈ CG	600-1900	30	24	80
ISSR_C	(AG) ₈ TG	500-1600	21	15	71.4
ISSR_D	(AG) ₈	480-1700	38	26	68.4
ISSR_G	(GCC) ₅	500-1650	36	21	58.3
		Sum	161	115	
		Average	32.2±6.9	23±5.3	71.7±9.2

DNA polymorphism at population level was considerably lower than at species level. Similar results were obtained for both RAPD and ISSR analyses. RAPD assay revealed 15 monomorphic populations of 29 studied while ISSR analysis showed no polymorphism in 14 populations of 29 studied. The average polymorphism of RAPD markers at population level including monomorphic populations was 26.01% and ISSR polymorphism was 23.63%. The percentage of polymorphic RAPD bands within polymorphic populations varied between 25.71% (Lielius) and 78.57% (Kena) (Fig. 1). The extreme values of ISSR polymorphism within the same group of populations were 10.43% (Vilnius C) and 69.57% (Daniliškės). The second largest ISSR polymorphism showed Kena population (62.61%) (Fig. 2).

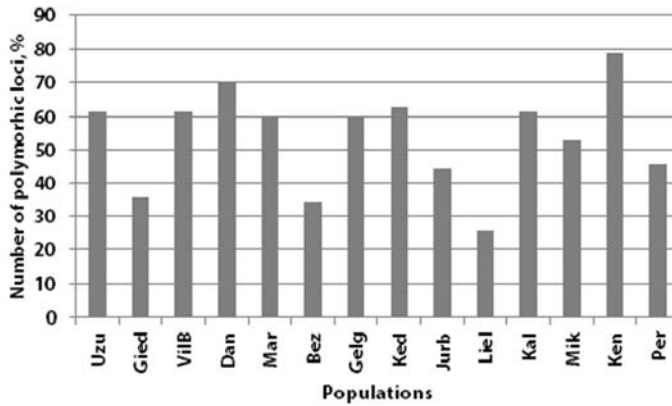


Fig. 1 Number of polymorphic loci (%) revealed by RAPD. Population codes: Uzu-Užutrakis, Gied-Giedraičiai, VilB-Vilnius B, Dan-Daniliškės, Mar-Marijampolė, Bez-Bezdonys, Gelg-Gelgaudiškis, Ked-Kėdainiai, Jurb-Jurbarkas, Liel-Lielius, Kal-Kalvarija, Mik-Mikytai, Ken-Kena, Per-Pervalka.

Abb. 1 Polymorphismus der RAPD- Loci in den *E. annuus* polymorphen Populationen.

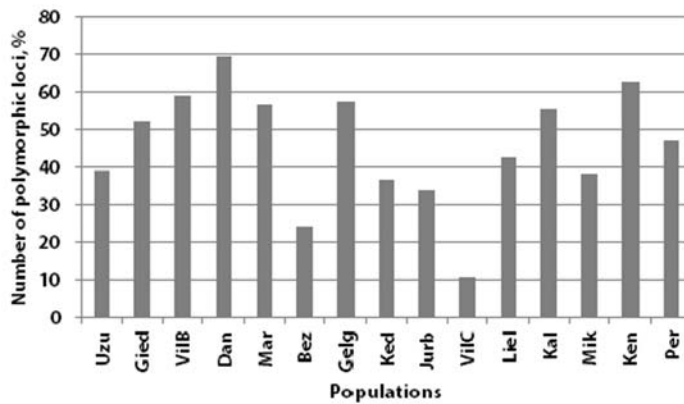


Fig. 2 Number of polymorphic loci (%) revealed by ISSR. Population codes: Uzu-Užutrakis, Gied-Giedraičiai, VilB-Vilnius B, Dan-Daniliškės, Mar-Marijampolė, Bez-Bezdonys, Gelg-Gelgaudiškis, Ked-Kėdainiai, Jurb-Jurbarkas, VilC-Vilnius C, Liel-Lielius, Kal-Kalvarija, Mik-Mikytai, Ken-Kena, Per-Pervalka.

Abb. 2 Polymorphismus der ISSR -Loci in den *E. annuus* polymorphen Populationen.

Tab. 2 Variation in clone structure among populations of *Erigeron annuus* in Lithuania revealed by RAPD and ISSR assays.

Tab. 2 Die Vielfalt der Klonstruktur in den untersuchten *E. annuus* Populationen, festgestellt nach den RAPD- und ISSR- Signifikanten.

	Total samples (N)	Number of genotypes (G)		Clonal diversity (G/N)		Simpson's diversity index (D)	
		RAPD	ISSR	RAPD	ISSR	RAPD	ISSR
Užutrakis	12	2	3	0.167	0.250	0.530	0.621
Giedraičiai	12	2	2	0.167	0.167	0.167	0.167
Vilnius A	12	1	1	0.083	0.083	0	0
N.Janavas	12	1	1	0.083	0.083	0	0
Vilnius B	12	2	2	0.167	0.167	0.545	0.545
Pagiriai A	12	1	1	0.083	0.083	0	0
Roduka	12	1	1	0.083	0.083	0	0
Daniliškės	12	4	4	0.333	0.333	0.455	0.455
Marijampolė	12	2	2	0.167	0.167	0.530	0.530
Pagiriai B	12	1	1	0.083	0.083	0	0
N.Vilnia	12	1	1	0.083	0.083	0	0
Bezdonys	12	2	2	0.167	0.167	0.167	0.167
Gelgaudiškis	12	4	3	0.333	0.250	0.636	0.439
Kėdainiai	12	2	2	0.167	0.167	0.409	0.409
Jurbarkas	12	2	2	0.167	0.167	0.167	0.167
Vilnius C	12	1	2	0.083	0.167	0	0.167
Lielius	12	2	2	0.167	0.167	0.303	0.303
Babtai	6	1	1	0.167	0.167	0	0
Vilnius D	10	1	1	0.100	0.100	0	0
Kulautuva	12	1	1	0.083	0.083	0	0
Kalvarija	12	2	2	0.167	0.167	0.545	0.545
Mikytai	5	2	2	0.400	0.400	0.400	0.400
Betygala	7	1	1	0.143	0.143	0	0
Kavarskas	12	1	1	0.083	0.083	0	0
Svėdasai	12	1	1	0.083	0.083	0	0
Kamajai	12	1	1	0.083	0.083	0	0
Kena	12	4	4	0.333	0.333	0.636	0.636
Mažeikiai	12	1	1	0.083	0.083	0	0
Pervalka	12	2	2	0.167	0.167	0.530	0.530
Average		1.7	1.7	0.154	0.157	0.208	0.210

The populations consisted of different number of genotypes (genets). The variability of RAPD and ISSR patterns was rather low. Out of 328 fleabane individuals collected in all 29 sites, only 16 showed unique RAPD and 14 unique ISSR patterns. The remaining plants were clones of different size (28 RAPD and 32 ISSR patterns were observed in two or more accessions). The largest clone according to RAPD analysis data consisted of 109 accessions. This genotype was shared among 9 populations (data not shown). Clonal diversity ranged from 0.083 to 0.4. The Simpson's diversity index values varied from 0.0 to 0.636 (Tab. 2).

All the parameters of genetic differentiation obtained using RAPD and ISSR markers were rather similar and indicated a high level of genetic differentiation among populations. An AMOVA revealed that 51.1% ($\Phi_{PT} = 0.511$) of the total variation established using RAPD analysis occurred among populations and 48.9% occurred within the population. When analysis was carried out on the basis of ISSR data, the 59.5% ($\Phi_{PT} = 0.595$) of the total variation was found among populations and 40.5% occurred within populations. The coefficient of genetic differentiation between populations (G_{ST}) was 0.58 for RAPD markers and 0.64 for ISSR markers. The estimated values of N_m from G_{ST} were 0.358 and 0.278 respectively, which suggested that the gene flow in *E. annuus* was low.

Discussion

To get more precise and reliable data we used two types of DNA markers. An analysis of molecular data indicated a high level of genetic differentiation ($G_{ST} = 0.64$ for ISSR, $G_{ST} = 0.58$ for RAPD). Similar values of population differentiation were revealed by AMOVA. The Φ_{PT} value for RAPD markers was 0.511, and for ISSR markers 0.595. TRTIKOVA *et al.* also identified high level of genetic differentiation among populations from Switzerland. Nearly half of the total genetic diversity in this study was established among populations ($G_{ST} = 0.46$). A higher differentiation of Lithuanian populations in comparison with Swiss lowland populations possibly can be explained by more expressed founder effect and reduced gene flow among them.

Our study of Lithuanian populations of environmental weed *E. annuus* using RAPD and ISSR markers also revealed reduced genetic diversity at population level in comparison with previous results obtained for this species. Previously EDWARDS *et al.* (2006) reported that most of the populations of this species from Northern America and Western Europe were multiclonal and possessed high levels of genotypic diversity within populations (EDWARDS *et al.*, 2006). In the other study, TRTIKOVA *et al.* (2011) found, that 83% of studied populations from Switzerland were polymorphic. A detailed comparison of Lithuanian populations with western and central European populations is complicated because of different assays used and different number of loci studied. Nevertheless at the population level the trend towards reduced genetic variability in Lithuanian populations is evident. Only about 50% of Lithuanian populations were polymorphic. The fact that one RAPD phenotype is common for about 33% of studied individuals also indicates low genetic variation of *E. annuus* populations in Lithuania. The estimate of average clonal diversity (G/N) as parameter of sexual recruitment in Lithuanian populations was rather low ($G/N = 0.154$ for RAPD; $G/N = 0.157$ for ISSR) in comparison with the mean (0.17) for the clonal species (ELLSTRAND AND ROOSE 1987). Nevertheless RAPD analysis of studied plant material identified 16 unique genotypes and ISSR analysis – 14 unique genotypes. This result one more time supports the view that most of apomictic plants in an introduced range consist of various genotypes (EDWARDS *et al.*, 2006; LOOMIS and FISHMAN, 2009). EDWARDS *et al.* (2006) pointed out that some genotypes of *E. annuus* have a stronger tendency towards agamospermy than others. For clonal invasive plants phenotypic plasticity in the introduced range may be the most suitable strategy of adaptation to local conditions (PARKER *et al.*, 2003; LOOMIS and FISHMAN, 2009). Uniparental reproduction (e.g. selfing or asexual reproduction by clonal propagation and apomixis) allows establishment after dispersal when founder group sizes are very small (BARRETT *et al.*, 2008). EDWARDS *et al.* (2006) also noticed that specific European RAPD phenotypes were not imported from North America populations but most likely were generated by genetic recombination in the process of occasional sexual

reproduction. Only part of diversity of western European populations was introduced into Lithuania and rare sexual reproduction did not compensate the impact of founder effect. It is known that expansion of invasive species create a gradient in genetic diversity decreasing along the spatial axis of spreading (AUSTERLITZ *et al.*, 1997). For this reason it is expected that populations at the front of an expansion should be lower in diversity than those at the core of the expansion (KLOPFSTEIN *et al.*, 2006; BAKER and DYER, 2011). This idea can be used to explain the possible trend for lower genetic diversity in invasive population of *E. annuus* in the northern direction. This species probably start its spreading through Europe from France in the seventeenth century and at the end of 19th century achieved Lithuania. Although precise information concerning date and way of introduction of *E. annuus* into Lithuania does not exist, it seems likely that it has been distributed here as an ornamental plant or as contamination of seeds of other ornamental plants (PATAMSYTĖ *et al.*, 2013). *E. annuus* is still very rare in Northern Lithuania and in Latvia, which suggests that the front of an expansion of this species divides Lithuanian territory in two parts: with and without of daisy fleabane.

Acknowledgement

This research was founded by Research Grant (No. LEK 07/2012) from the Research Council of Lithuania.

References

- AUSTERLITZ, F., B. JUNG-MILLER, B. GODELLE and P. H. GOUYON, 1997: Evolution of coalescence times, genetic diversity and structure during colonization. *Theor. Popul. Biol.* **51**, 148-164.
- BAKER, S. A. and R. J. DYER, 2011: Invasion genetics of *Microstegium vimineum* (Poaceae) within the James River Basin of Virginia, USA. *Conserv. Genet.* **12**, 793-803.
- BAKER, H.G., 1965: Characteristics and modes of origin of weeds. In: *The genetics of colonizing species*. Baker, H. G. and G. L. Stebbins, New York, Academic Press, 147-168.
- BARRETT, S. C. H., R. COLAUTTI and C. G. ECKERT, 2008: Reproductive systems and evolution during biological invasion. *Mol. Ecol.* **17**, 373-383.
- CHUNG, J. M., B. C. LEE, J. S. KIM, C. W. PARK, M.Y. CHUNG and M. G. CHUNG, 2006: Fine-scale genetic structure among genetic individuals of the clone-forming monotypic genus *Echinosophora koreensis* (Fabaceae). *Ann. Bot.* **98**, 165-173.
- DEV, S. A., M. SHENOY and R. M. BORGES, 2010: Genetic and clonal diversity of the endemic ant-plant *Humboldtia brunonis* (Fabaceae) in the Western Ghats of India. *J. Biosci.* **35**, 267-279.
- DOYLE, J. J. and J. L. DOYLE, 1990: Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus.* **12**, 13-15.
- EDWARDS, P. J., D. FREY, H. BAILER and M. BALTISBERGER, 2006: Genetic variation in native and invasive populations of *Erigeron annuus* as assessed by RAPD markers. *Int. J. Plant Sci.* **167**, 93-101.
- ELLSTRAND, N. C. and M. L. ROOSE, 1987: Pattern of genotypic diversity in clonal plant species. *Am. J. Bot.* **74**, 123-131.
- KLOPFSTEIN, S., M. CURRAT and L. EXCOFFIER, 2006: The fate of mutations surfing on the wave of a range expansion. *Mol. Biol. Evol.* **23**, 482-490.
- LAMBON, P. W., P. PYŠEK, C. BASNOU, M. HEJDA, M. ARIANOUTSO, F. ESS, V. JAROŠÍK, J. PERGL, M. WINTER, P. ANASTASIU, P. ANDRIOPOULOS, I. BAZOS, G. BRUNDU, L. CELESTI-GRAPOV, P. CHASSOT, P. DELIPETROU, M. JOSEFSSON, S. KARK, S. KLOTZ, Y. KOKKORIS, I. KÜHN, H. MARCHANTE, I. PERGLOVÁ, J. PINO, M. VILÁ, A. ZIKOS, D. ROY and P. E. HULME, 2008: Alien flora of Europe: species diversity, temporal trends, geographical patterns and research needs. *Preslia* **80**, 101-149.
- LOOMIS, E. S. and L. A. FISHMAN, 2009: Continent-wide clone: population genetic variation of the invasive plant *Hieracium aurantiacum* (Orange Hawkweed; Asteraceae) in North America. *Int. J. Plant Sci.* **170**, 759-765.
- LOVELESS, M.D. and J. L. HAMRICK, 1984: Ecological determinants of genetic structure in plant populations. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **15**, 65-95.
- MCDONALD, C. C., 1927: A study of seed development in three species of *Erigeron* with special reference to apogamy. *Bulletin of the Torrey Botanical club* **54**, 479-497.
- MOWSZOWICZ, J., 1938: Flora I zespoly roślinne «Gór Ponarskich» I ich najbliższych okolic. *Prace Tow. Przyj. Nauk. Wiln.* **13**, 367-411.
- NEI, M., 1973: Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **70**, 3321-3323.
- PARKER, I.M., J. RODRIGUEZ and M. E. LOIK, 2003: An evolutionary approach to understanding the biology of invasions: local adaptation and general-purpose genotypes in the weed *Verbascum thapsus*. *Conserv. Biol.* **17**, 59-72.
- PATAMSYTĖ, J., T. ČESNIENĖ, D. NAUGŽEMYS, V. KLEIZAITĖ, V. VAITKŪNIENĖ, V. RANČELIS and D. ŽVINGILA, 2011: Genetic diversity of warty cabbage (*Bunias orientalis* L.) revealed by RAPD and ISSR markers. *Žemdirbyste=Agriculture* **98**, 293-300.
- PATAMSYTĖ, J., V. RANČELIS, T. ČESNIENĖ, V. KLEIZAITĖ, V. TUNAITIENĖ, D. NAUGŽEMYS, V. VAITKŪNIENĖ and D. ŽVINGILA, 2013: Clonal structure and reduced diversity of the invasive alien plant *Erigeron annuus* in Lithuania. *Central European Journal of Biology* **8(9)**, 898-911.

- PEAKALL, R. and P. SMOUSE, 2006: GenAEx v.6: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* **6**, 288-295.
- SCHMITZ, U. and G. DERICKS, 2010: Spread of alien invasive *Impatiens balfourii* in Europe and its temperature, light and soil moisture demands. *Flora* **205**, 772-776.
- STRATTON, D. A., 1991: Life history variation within populations of an asexual plant, *Erigeron annuus* (Asteraceae). *Am. J. Bot.* **78**, 723-728.
- TRTIKOVA, M., S. GÜSEWELL, M. BALTISBERGER and P. J. EDWARDS, 2011: Distribution, growth performance and genetic variation of *Erigeron annuus* in the Swiss Alps. *Biol. Invasions* **13**, 413-422.
- VAN DER HULST, R. G. M., T. H. M. MES, M. FALQUE, P. STAM, J. C. M. DEN NIJS and K. BACHMANN, 2003: Genetic structure of a population sample of apomictic dandelions. *Heredity* **90**, 326-335.
- YEH, F.C., R. YANG and T. BOYLE, 1999: POPGENE v.1.31, Microsoft Window-based Freeware for Population Genetic Analysis.
- ZYBARTAITE, L., J. ZUKAUSKIENE, M. JODINSKIENE, S. B. JANSSENS, A. PAULASKAS and E. KUPCINSKIENE, 2011: RAPD analysis of genetic diversity among Lithuanian populations of *Impatiens glandulifera*. *Žemdirbystė=Agriculture* **98**, 391-398.

Cyperus esculentus - differences in growth and tuber production between cultivated and wild forms

Cyperus esculentus - Unterschiede in Wachstum und Knollenbildung zwischen Kultur- und Wildformen

Josef Holec*, Petra Bulejčiková, Pavel Hamouz and Josef Soukup

Department of Agroecology and Biometeorology, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, Kamycka 957, CZ-165 21 Prague 6 – Suchbátov, Czech Republic.

*Corresponding author, holec@af.czu.cz



DOI 10.5073/jka.2014.443.024

Abstract

Cyperus esculentus (yellow nutsedge) belongs to the world most important weeds on arable land. This species is classified as an invasive one in Central and North-western Europe. It is not yet present as a weed in the Czech Republic, but its occurrence in neighbouring countries and its ability to survive winters in this region must be taken into account. A cultivated form of *C. esculentus*, known as Chufa or Tiger nuts, is occasionally grown in home gardens as a crop for its edible tubers. In pot experiments we tested the growth of both forms, weedy and cultivated one. Weight of both fresh and dry biomass of plant parts (leaves, roots, rhizomes, tubers, inflorescences) was measured in monthly intervals from May till September 2012. Results show that there were no significant differences in leaf and root biomass. The weight of rhizomes was approximately 50-80 times higher in the wild form. Number of tubers was also higher in the wild form (max. 1118 pcs; crop max. 342 pcs in single pot), but the total weight of tubers was not significantly different. The cultivated form did not produce inflorescences at all, the wild form produced in average 13 inflorescences per plot. Based on our results we can state that growing of the cultivated form does not pose any risk – plants do not show intensive vegetative spread and do not produce inflorescences so crossing with the weedy form is not possible. The wild form can produce high amounts of rhizomes and tubers and is able to produce flowers under our conditions. That makes it a potentially dangerous weed in warmer regions of the Czech Republic.

Keywords: Biomass production, crop, CYPES, invasive weed, yellow nutsedge

Zusammenfassung

Cyperus esculentus (Erdmandelgras) gehört zu den weltweit wichtigsten Unkräutern auf Ackerflächen. Diese Art ist klassifiziert als invasiv in Zentral- und Nordwesteuropa. Die Wildform kommt in der Tschechischen Republik nicht vor, aber in den Nachbarländern. Ihre Fähigkeit, die Winter in dieser Region zu überleben, muss berücksichtigt werden. Die Zuchtform von *C. esculentus*, als Chufa oder Tigernuss bekannt, wird gelegentlich in Hausgärten als Kulturpflanze wegen ihrer essbaren Knollen angebaut. In Gefäßversuchen haben wir das Wachstum der beiden Formen, Wild- und Kulturpflanze, getestet. Frisch- und Trockenmasse von Pflanzenteilen (Blätter, Wurzeln, Rhizome, Knollen, Blütenstände) wurden in monatlichen Abständen von Mai bis September 2012 gemessen. Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede in der Blatt- und Wurzelbiomasse. Das Gewicht der Rhizome war bei der Wildform etwa 50- bis 80mal höher. Die Anzahl der Knollen war in der Wildform ebenfalls höher (max. 1.118 Stück/Gefäß) als bei der Zuchtform (max. 342 Stück/Gefäß). Das Gesamtgewicht der Knollen war nicht signifikant verschieden. Die Zuchtform bildete keine Blütenstände; die Wildform bildete durchschnittlich 13 Blütenstände pro Gefäß. Basierend auf unseren Ergebnissen können wir feststellen, dass der Anbau der Zuchtform keine Gefahr ist, denn die Pflanzen zeigen keine intensive vegetative Ausbreitung und bilden keine Blütenstände, sodass die Kreuzung mit der Wildform nicht möglich ist. Die Wildform bildet große Mengen an Rhizomen und Knollen und ist fähig, unter unseren Bedingungen zu blühen. Das macht dieses Unkraut in wärmeren Regionen der Tschechischen Republik potenziell gefährlich.

Stichwörter: Biomasse-Produktion, CYPES, Erdmandelgras, invasives Unkraut, Knollenbildung

Introduction

Cyperus esculentus L. (syn. *Chlorocyperus esculentus* /L./ Palla, Yellow nutsedge) belongs to the world most important weeds on arable land (HOLM *et al.*, 1991). Native in mediterranean and tropical regions, this species is classified as an invasive one in Central and North-western Europe (DE VRIES, 1991; DANCZA *et al.*, 2004). The wild form is not yet present in the Czech Republic, but its occurrence in neighbouring countries and its ability to survive winters in this region must be taken

into account. The cultivated form of *C. esculentus*, known as Chufa or Tiger nuts, is occasionally grown in home gardens as a crop for its edible tubers (KUBÁT *et al.*, 2002). A detailed study on its growing under the conditions of the Czech Republic was published already in the mid-20th century (JIRÁSEK, 1955) but it is a crop of minor importance without large-scale field production.

The aim of this study was to describe growth dynamics of the wild form under the conditions of CZ and to compare it with cultivated plants to observe differences and possible risk of spread of both forms as weeds/volunteers on arable land.

Material and Methods

A pot experiment was realised at the experimental field of the Czech University of Life Sciences in Prague – Suchbát (280 m a.s.l.). Plastic pots 18 x 18 x 23 cm were filled with commercially produced planting substrate Agro CS. The lower 5 cm of the pots were permanently in water. Each pot contained 4 seedlings of *C. esculentus*, pre-planted in laboratory. In the experiment established 23. 4. 2012 we tested growth of weedy and cultivated forms from collections of the department of Agroecology and Biometerology. The wild form originated from Hungary, Kaposvar region. Weight of both fresh and dry biomass of plant parts (leaves, roots, rhizomes, tubers, inflorescences) was measured in monthly intervals (24. 5.; 25. 6.; 20. 7.; 22. 8.; 26. 9.) starting in May with the last one in September 2012. During each term, 3 pots of both wild and cultivated forms of *C. esculentus* were used as replicates. In this work, only weights of dry biomass data are presented. Data were analysed by analysis of variance ($\alpha=0.05$) using statistical software Statistica ver. 9.

Results

Results of dry biomass production of plant parts of both wild and cultivated forms of *C. esculentus* are presented in Figures 1-6.

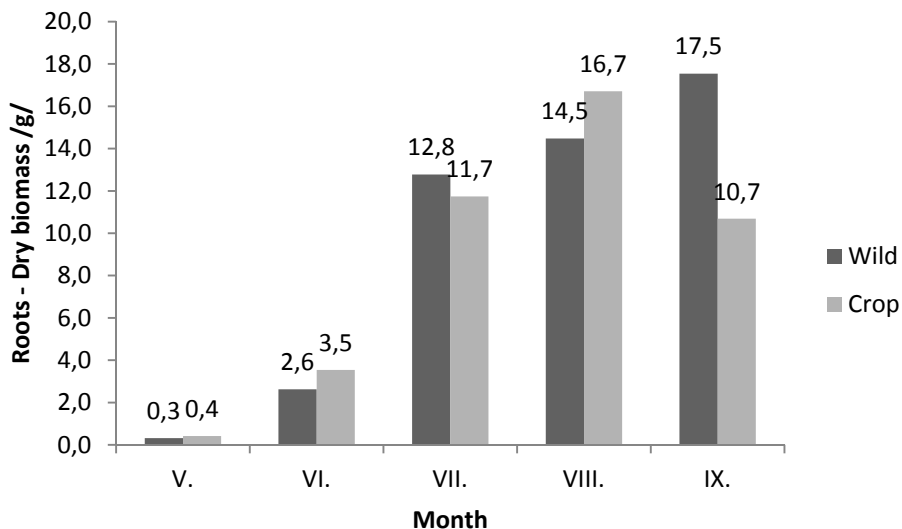


Fig. 1 Dry weight of the roots of wild and cultivated forms of *C. esculentus*.

Abb. 1 Trockenmasse der Wurzeln der Wild- und Kulturform von *C. esculentus*.

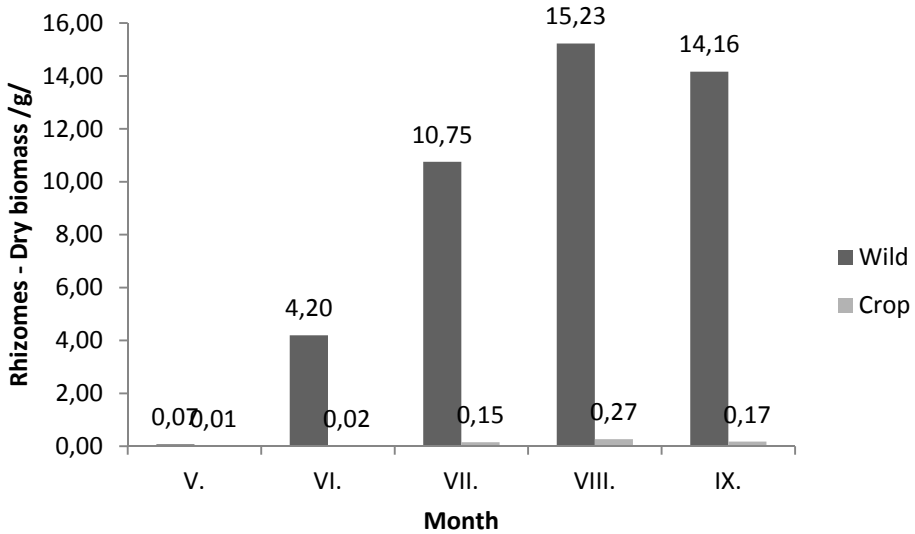


Fig. 2 Dry weight of the rhizomes of wild and cultivated forms of *C. esculentus*.

Abb. 2 Trockenmasse der Rhizome der Wild- und Kulturform von *C. esculentus*.

Root biomass production (Fig. 1) was very similar in both forms of *C. esculentus*, no statistically significant differences were found in any term of evaluation. A completely different situation was found in the production of rhizomes (Fig. 2). The wild form started to produce rhizomes very early. Already in the first evaluation term the differences between the forms were statistically significant and later in the growing season the production of rhizomes of the wild form was 50 – 80 times higher compared to the *C. esculentus* crop.

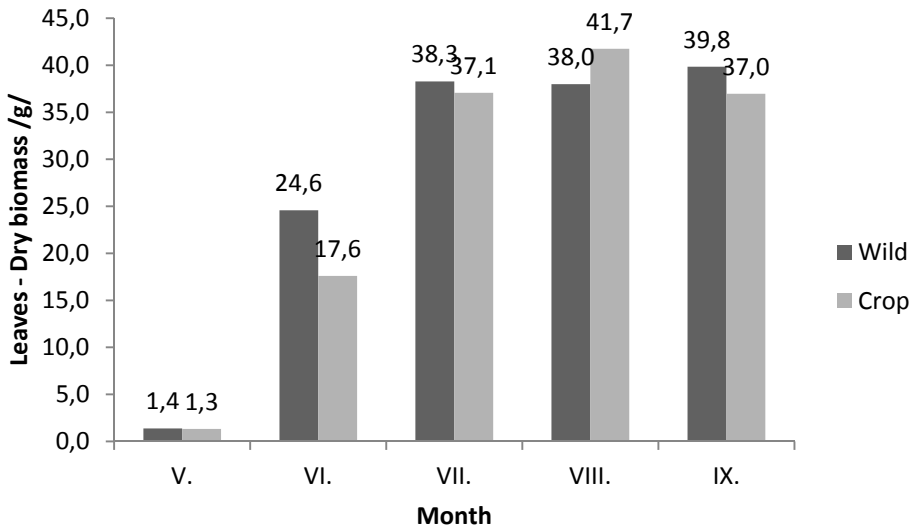


Fig. 3 Dry weight of the leaves of wild and cultivated forms of *C. esculentus*.

Abb. 3 Trockenmasse der Blätter der Wild- und Kulturform von *C. esculentus*.

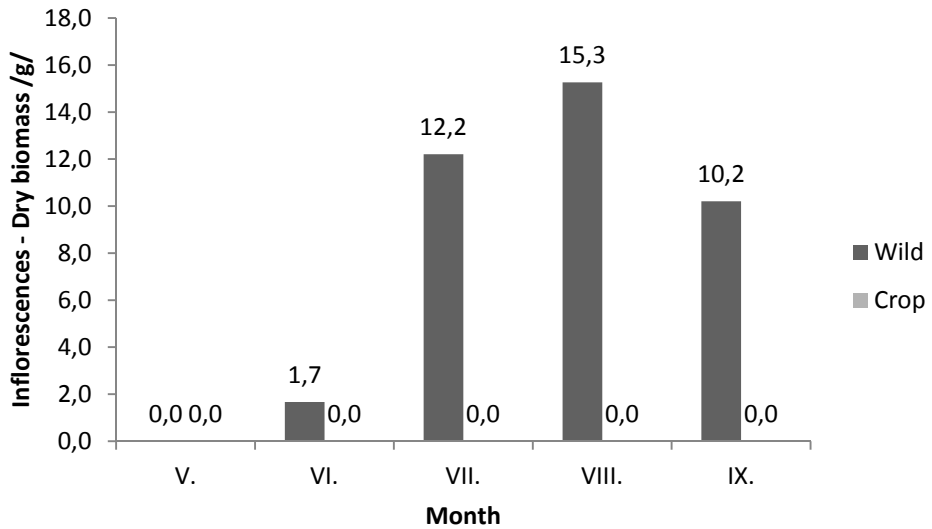


Fig. 4 Dry weight of the inflorescences of wild and cultivated forms of *C. esculentus*.

Abb. 4 Trockenmasse der Blütenstände der Wild- und Kulturform von *C. esculentus*.

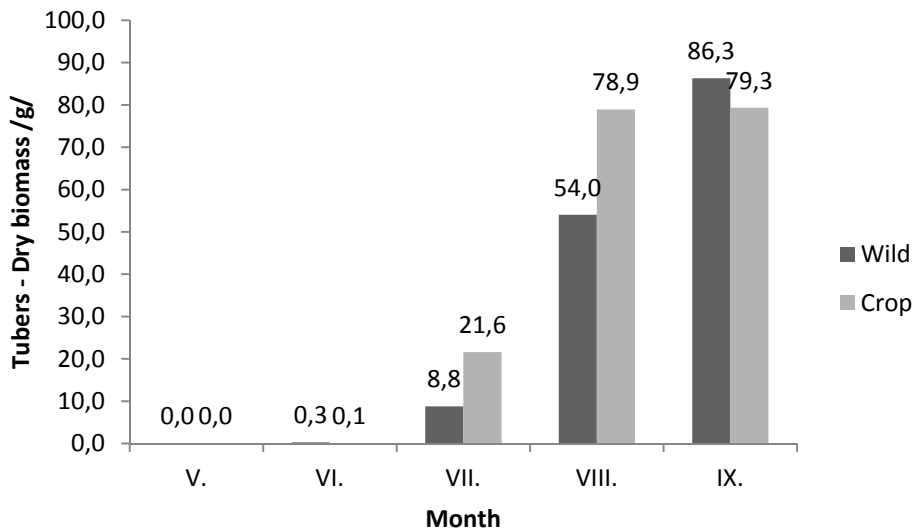


Fig. 5 Dry weight of the tubers of wild and cultivated forms of *C. esculentus*.

Abb. 5 Trockenmasse der Knollen der Wild- und Kulturform von *C. esculentus*.

There were no statistically significant differences found in the production of leaves (Fig. 3). There was a relatively more rapid leaf production of the wild form at the beginning of the growing season but later the total leaves biomass of both forms was very similar.

While the wild form produced inflorescences already during June with the highest weight of this plant part reached in August (Fig. 4), the cultivated form did not produce any inflorescences at all

and stayed in vegetative phase during the experimental period. The wild form was also able to produce seeds (data not shown).

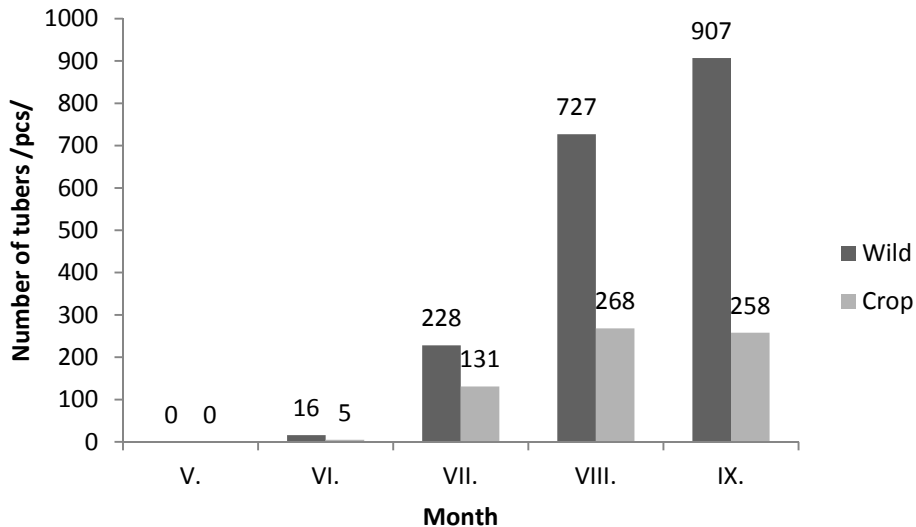


Fig. 6 Number of tubers of wild and cultivated forms of *C. esculentus*.

Abb. 6 Anzahl der Knollen der Wild- und Kulturform von *C. esculentus*.

The tuber production started in June (Fig. 5). When we look at the dry weight of tubers, the production of both forms was not very different, higher tuber biomass production was found with the cultivated form in July and August, but the differences during the growing season were not statistically significant. But when we look at the number of tubers (Fig. 6), the wild form produced higher amounts of them compared to the cultivated form. During June and July the differences were not statistically significant. During August and September the wild form produced statistically significantly more tubers than the crop. The maximum values obtained in a single pot were as follows: wild form 1118 pcs. per pot; crop max. 342 pcs. per pot.

Discussion

The wild form of *C. esculentus* occurs in Central Europe as a neophyte. It can easily become a troublesome weed species also under the temperate climate of this region. DANCZA *et al.* (2004) refer about the situation in Hungary, where *C. esculentus* occurred for the first time in 1993 and 10 years later it occupied 3000 hectares. In our crops the management of weeds of the Cyperaceae family can be problematic. During the last decades, *Bolboschoenus* species (*B. maritimus* s.l., resp. *B. koshewnikowii*, *B. yagara* x *B. koshewnikowii*) became hard-to-control weeds in sugar beet or maize stands (KNEIFLOVÁ and MIKULKA, 2006). This makes predictions of potentially successful spread of *C. esculentus* in CZ realistic. There is an intensive vegetative spread via rhizomes which are produced during the whole vegetative period. The tuber production is also very high compared to the cultivated form. Moreover, tubers of the wild form were able to survive the hard winter 2012-13 under field conditions (data not published), while the tubers of the crop did not. The wild form also produced inflorescences and seeds as well. Generative reproduction can help the species to select biotypes well adapted for our climatic region. That makes it a potentially dangerous weed in warmer regions of the Czech Republic. On the other hand, based on our results we can state that growing of the cultivated form does not pose any risk – plants do not show intensive vegetative

spread and do not produce inflorescences so crossing with the weedy form is not possible. Unlike other European countries, where *C. esculentus* is a more important crop with productive cultivars (PASCUAL-SEVA *et al.*, 2013), growing of this crop is not common in the Czech Republic and we can find it only rarely in home gardens.

References

- DANCZA, I., Z. PATHY HOFMANN and C. DOMA, 2004: *Cyperus esculentus* (yellow nutsedge) - a new weed in Hungary. *J. Plant Dis. Prot., Sp. Issue XIX*, 223-229.
- DANIHELKA, J., J. JR. CHRTEK and Z. KAPLAN, 2012: Checklist of vascular plants of the Czech Republic. *Preslia* **84**, 647-811.
- DE VRIES, F. T., 1991: Chufa (*Cyperus esculentus*, Cyperaceae): A weedy cultivar or a cultivated weed? *Econ. Bot.* **45** (1), 27-37.
- HOLM, L. G., D. L. PLUCKNETT, J. V. PANCHO and J. P. HERBERGER, 1991: *The World's worst weeds. Distribution and biology.* Krieger publishing company, Malabar, 609 p.
- JIRÁSEK, F., 1955: *Pěstujeme teplomilné rostliny.* SZN, Praha, 157 p.
- KNEIFELOVÁ, M., and J. MIKULKA, 2006: Study of biomass production and growth dynamic of *Bolboschoenus laticarpus* nom. prov. *J. Plant Dis. Prot., Sp. Issue XX*, 331-338.
- KUBÁT, K., L. HROUDA, J. JUN. CHRTEK, Z. KAPLAN, J. KIRCHNER and J. ŠTĚPÁNEK (EDS.), 2002: *Klíč ke květeně České republiky /Key to the Flora of the Czech Republic/.* Academia, Praha, 928 p.
- PASCUAL-SEVA, N., A.S. BAUTISTA, S. V. LOPEZ-GALARZA, J. V. MAROTO and B. PASCUAL, 2013: 'Alboraia' and 'Bonrepos': The First Registered Chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* Boeck.) Cultivars. *Hortsci.* **48** (3), 386-389.

Phenological characteristics of the invasive weed *Cucumis melo*

Phänologische Eigenschaften der invasiven Unkrautart *Cucumis melo*

Sima Sohrabi^{1*}, Ali Ghanbari¹, Mohammad Hassan Rashed Mohassel¹ and Javid Gherekhloo²

¹Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

²Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

*Corresponding author, simsoh@gmail.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.025

Abstract

Phenology is the study of periodic biological events. The time of weed appearance, growth and reproduction are very important for decisions on invasive weed management. *Cucumis melo* is an annual invasive weed of soybean fields in the north of Iran that reproduces and spreads predominately through seed production. In order to study the phenology of wild melon was conducted an experiment in CRD at Research Farm of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, during 2012. Seeds first germinated after 10 days of planting, as soon as optimal soil temperatures were achieved. The weed exhibited monoecious tendencies, with production of male flowers rapidly followed by production of both male and female flowers on the same vine. *Cucumis melo* exhibited prolific fruit production, until senescence occurred at 75 and 92 days after establishment. First fruit formation was observed between 40 and 49 days after emergence, depending on temperature. To complete growth cycle, of *Cucumis melo* required about 448 and 733 degree days, respectively for late of May and 8 of June. The weed produced a maximum of 100 fruits/plant, but an average plant typically produced 48 fruits/plant. The seed number and seed weight was on average about 190 seeds/fruit and 0.55 g per 100 seeds, respectively. The results indicated that wild melon could produce a lot of fruits and seeds within a growth period of about 75 and 92 days.

Keywords: Growth, monoecious plants, reproduction, wild melon

Zusammenfassung

Die Phänologie befasst sich mit wiederkehrenden biologischen Abläufen. Auflauf, Wachstum und Samenproduktion invasiver Arten sind wichtig für Bekämpfungsentscheidungen. *Cucumis melo* ist eine einjährige, invasive Unkrautart, die im Norden Irans im Sojabohnenanbau vorkommt und sich vorwiegend durch Samenproduktion vermehrt und ausbreitet. Untersuchungen zur Phänologie dieser Unkrautart wurden 2012 auf der Versuchsstation der Gorgan Universität im Iran durchgeführt. Das Auflaufen erfolgte von Anfang bis Mitte Mai nach Erreichen optimaler Bodentemperaturen. Die Unkrautart zeigte monözische Tendenzen indem sowohl männliche als auch weibliche Blüten an einer Pflanze ausgebildet wurden. *Cucumis melo* zeigt eine starke Fruchtentwicklung bis zum Beginn der Seneszens nach etwa 75 Tagen nach der Keimung. In Abhängigkeit von der Temperatur wurde die erste Fruchtbildung 40 bis 49 Tage nach der Keimung beobachtet. Wachstumszyklus für Ende Mai und 8. Juni abzuschließen, *Cucumis melo* der erforderlichen etwa 448 und 733 Grad-Tagen. Die Unkrautart produzierte maximal 100 Früchte pro Pflanze und im Mittel produzierte eine Pflanze 48 Früchte. Die Samenanzahl und das Samengewicht lagen bei 190 Samen pro Frucht und 0,55 g pro 100 Samen. Die Ergebnisse zeigen, dass wilde Melonenarten innerhalb von 75 Tagen eine hohe Anzahl von Früchten und Samen produzieren können.

Stichwörter: Monoecious Pflanzen, Reproduktion, Wachstum, wilde Melone

Introduction

Invasion is the geographical expansion of a species into an area not previously occupied by that species (VERMEIJ, 1996). Invasive weeds can be non-indigenous and indigenous species that can become overly abundant in a plant community (BOOTH, 2003). Biological processes and characteristics that are most important for weeds to thrive are dependent on reproduction, dispersal, phenology and etc. (BRYSON and CARTER, 2004). Phenology is the study of the seasonal timing of life cycle events (RATHCKE and LACEY, 1985). The timing of emergence, growth and sexual reproduction is highly important for the success of invasive weeds. The phenology of a weed is mediated by the interaction of internal factors with external environmental signals such as temperature, day length or drought (GODY *et al.*, 2009; DINCER *et al.*, 2010). Therefore,

understanding the factors that control phenological variability is crucial for the design of durable weed management practices (DINCER *et al.*, 2010).

Cucumis melo subsp. *agrestis* Naudin is a monoecious, annual, trailing-vine plant of the Cucurbitaceae family. The reproduction of *C. melo* takes place only by seeds. The inedible fruits are berries of spherical to ovoid shape with a very thin mesocarp and a lot of tiny seeds (KOUONON, 2003). There are four species of the Cucurbitaceae family that are invasive weeds in Australia and America (TINGLE and CHANDLER, 2003; WANG *et al.*, 2009; SHAIK *et al.*, 2011). *C. melo* is native to Asia but is aggressively invading soybean fields in the north of Iran. The objective of this study was to quantify the phenological development of *C. melo* in response to variations in temperature. This would be useful for decision support systems helping farmers to manage *C. melo*.

Material and Methods

The experiment was conducted in a completely randomized design with six replications at the Research Farm of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, during 2012 growing season. Seeds of wild melon were collected from a soybean field located in Golestan province, north of Iran during August 2011. Six seeds of *Cucumis melo* were sown at a depth of 2 - 3 cm on 23 May and 8 June in 3 × 4 m² plots and each plot considered as a replication. Phenological characteristics of wild melon seedlings and plants were studied during the summer. To prevent initial plant mortality, plots were kept relatively weed free for up to 40 days after emergence. The field was visited twice a week and at each time seedling establishment, time to emergence, leaf appearance, flowering stage, fruit set and time to maturing was recorded. Fruit number/vine was recorded in August and 10 mature fruits of plants at each replication were collected randomly to evaluate seed number/fruit. Data was analysed by SAS 9.1 to assess the effect of planting date on seed reproduction.

Daily thermal time (DTT) was used to calculate required degree-days following equation 1 to complete each stage of plant growth.

$$DTT = (T_o - T_b) \cdot F(T) \quad (\text{equation 1})$$

where $F(T)$ is the temperature function, T_o is the optimum temperature and T_b is the base temperature. The first component of the daily thermal time $[(T_o - T_b)]$ is constant and non-optimal temperature will affect daily thermal time through $F(T)$. $F(T)$ is temperature function (reduction factor) that varies between 0 (at base and ceiling temperature) and 1 (at optimal temperature) (KAMKAR *et al.*, 2012). The base, optimum and ceiling temperature for *C. melo* are 20, 35 and 45 °C, respectively (SOHRABI *et al.*, 2012). Required degree day for occurrence of each phenological stage of wild melon were calculated by Model Maker software ver. 3.0 and using the weather data.

Results and Discussion

The calculated thermal time for each growth stage is presented in Table 1. Each growth stage achieved when $F(T) = 1$ and depend on planting date, required daily thermal time was different for each phenological stage. To complete growth cycle (emergence to maturing) of wild melons that were planted in late of May and 8 of June needed about 448 and 733 degree-days. Required DTT for emergence, 2 - 3 leaf stage, 5 - 6 leaf stage, branching stage, flowering, fruiting and maturing stage was 55, 93, 130, 169, 243, 317 and 448 degree-day, respectively for planting date of late of May and required DTT for occurrence the mentioned stages for planting date of 8 of June was about 54, 94, 131, 173, 183, 338 and 733 degree-day, respectively (Tab. 1). Earlier phenological stages had a high development rate (Fig. 1). Seeds of wild melon germinated as soon as soil temperature achieved to optimum temperature. The weed exhibited monoecious tendencies, with production of male flowers rapidly followed by production of both male and female flowers on the same vine. *C. melo* exhibited prolific fruit production, until senescence occurred at 75 and 92 days after establishment. The time of 50% fruit formation were observed between 49 and 54 days after emergence, depending on temperature condition and date of planting (Tab. 1).

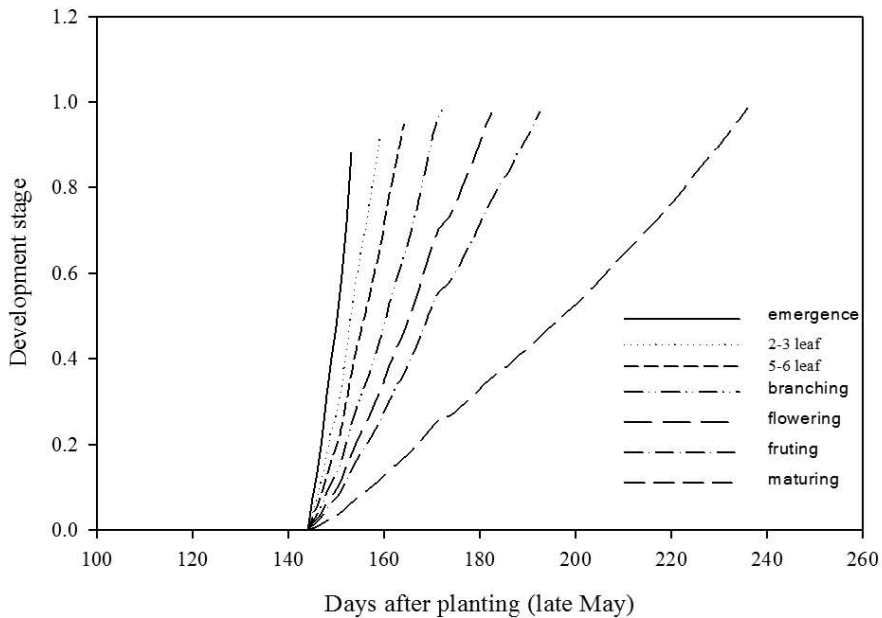
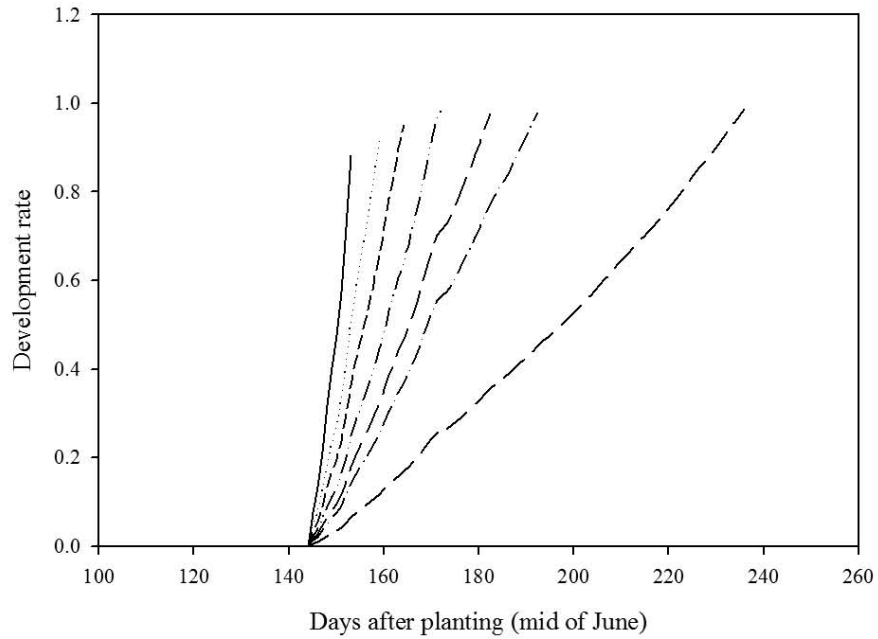


Fig. 1 Development rate (phenological stages) of wild melon (A and B).

Abb. 1 Entwicklungsstufen (phänologische Stadien) der Wildmelone (A und B).

Tab. 1 Phenology and growth parameters assessed for wild melon at summer 2012.

Tab. 1 Phänologie und Wachstumsparameter für Wildmelonen (Erfassung im Sommer 2012).

Phenological stage (Time to 50%)	DDT, days after planting (in late of May)	DDT, days after planting (in 8 of Jun)
Emergence	55, 15	54, 10
2-3 leaf	93, 22	94, 16
5-6 leaf	130, 28	131, 21
Branching	169, 34	173, 29
Flowering	243, 43	183, 39
Fruiting	317, 54	338, 49
Maturing	448, 75	733, 92
Fruits per plant	45.3	34.3
Seeds per fruit	189.9	172.13
Dry weight g per 100 seed	0.55	0.62

DDT: daily themal time

During the 75 and 92 days of wild melon growth, the mean number of fruits per plant and seeds per fruit were about 45 and 190, respectively for late of May planting date and about 34.33 and 172.13, respectively for the other planting date (8 of June). Seed number per vine was up to 5000 for both planting dates and the mean seed weight were about 0.55 and 0.62 g/100 seeds in May and June planting date, respectively (Tab. 1).

The first fruit formation was observed in prickly paddy melons (*Cucumis myriocarpus*) and camel melons (*Citrullus lanatus*) between 35 and 49 days after emergence. The camel melons and prickly melons produced a maximum of 14 and 120 fruits/plant, and 400 and 45 seeds/fruit, respectively (SHAIK *et al.*, 2011). Understanding phenological stages and their characteristics is crucial for design of durable weed management practices (DINCER *et al.*, 2010).

According to the results, wild melon could produce a lot of fruits and seeds within a growth period of 75 and 92 days. Knowing the time of phenological stages of wild melon and seed production characters helps producers and researchers to apply management practices in right time.

References

- BOOTH, B.D., S.D. MURPHY and C.J. SWANTON, 2003: Weed Ecology in Natural and Agricultural Systems. CAB International, Cambridge, USA2.
- BRYSON, C. T. and R. CARTER, 2004: Biology of pathways for invasive weeds. *Weed. Technol.* **18** (5), 1216–1220.
- DINCER, I., A. MIDILI and A. HEPBASLI, 2010: Global Warming: Engineering Solutions. Green Energy and Technology, Springer.
- GODOY, O., D.M. RICHARDSON, F. VALLADARESS and P. CASTRO-DIEZ, 2009: Flowering phenology of invasive alien plant species compared with native species in three Mediterranean-type ecosystems. *Ann. Bot.* **103** (3), 485-494.
- KAMKAR, B., M. JAMI AL-ALAMAHDHI, A. MADAHVI-DAMGHANI and F. J. VILLALOBOS, 2012: Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. *Ind. Crop. Prod.* **35** (1), 192–198.
- KOUONON, L.C., A.L. JAQUEMART, A.I. ZORO BI, P. BERTIN, J. P. BAUDOIN and Y. DJE, 2009: Reproductive biology of the andromonoecious *Cucumis melo* subsp. *Agrestis* (Cucurbitaceae). *Ann. Bot.* **104** (6), 1129–1139.
- RATHCKE, B. and E.P. LACEY, 1985: Phenological patterns of terrestrial plants. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **16** (1), 179-214.
- SHAIK, R.S., D. GOPURENKO, G. E. BURROWS, N.A.R. URWIN, B. J. LEPSCHIL, S. M. HILDEBRAND and L. A. WESTON, 2012: Identification of the invasive weeds, camel melon, prickly paddy melon and colocynth in Australia—a morphological and molecular approach. Eighteenth Australasian Weeds Conference, 73-77.
- TINGLE, C.H. and J.M. CHANDLER, 2003: Influence of environmental factors on smellmelon (*Cucumis melo* var. *dudaim* Naud.) germination, emergence, and vegetative growth. *Weed. Sci.* **51** (1), 56–59.
- WANG, Z. B., Y. F. CHEN and Y.H. CHEN, 2009: Functional grouping and establishment of distribution patterns of invasive plants in China using self-organizing maps and indicator species analysis. *Arch. Biol. Sci., Belgrade* **61** (1), 71-78.

Zur Ökophysiologie des Auftretens von *Cirsium arvense*

Ecophysiological aspects of Cirsium arvense

Hartmut Heilmann

Gesellschaft für Boden, Technik, Qualität (BTQ), 74592 Kirchberg, Birkenstr. 10
hartmut.heilmann@t-online.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.026

Zusammenfassung

Das Anbausystem mit dem Stoppelhobel vermag geringen landtechnischen Aufwand mit angemessenem Ertrag und geringem Begleitpflanzendruck zu verbinden, ohne dass eigene Maßnahmen der Distelregulation nötig wären. Trotzdem bleiben pedogene Aspekte des Auftauchens von *Cirsium arvense* (L.) SCOP. offen. Unterschiede in Bodenstruktur und pH-Wert bei Distelaufreten hängen nicht so sehr von Bodenbedingungen, sondern auch von Einflüssen durch *C. arvense* selber ab. Eine Untersuchung mit der Universität Hohenheim ergab große Unterschiede zwischen Bodenproben mit bzw. ohne Disteln. Dies muss als Hinweis auf saprophytische Beiträge zur Ernährung der Distel gewertet werden, welche es der Distel als mixotrophe Pflanze erlauben, organische Kohlenstoffverbindungen im Boden zu nutzen.

Stichwörter: Mixotrophie, Rhizomdormanz, Saprophytie, Stoppelhobel, subterrane Embryogenie, Trophietypen

Abstract

Even if an existing agricultural holistic production system works without specific measures of control of *Cirsium arvense* (L.) SCOP. scientific questions of pedogene probiotic aspects are left to be answered. Changes in soil structure and pH-Value are not as much due to the conditions of soil but depend on the influences of the Creeping thistle. Investigations of soils with/without thistles at the University of Hohenheim show high differences which hint at saprotroph contributions to nutrition. Thistle growth, rhizome dormancy and subterranean embryogeny are discussed as a nutrition model of thistles as mixotroph plants which can take advantage of organic substances in the soil.

Keywords: Mixotrophy, rhizome dormancy, saprophytic nutrition, Stoppelhobel, subterranean embryogeny, types of different nutrition

Einleitung

Für das Auftreten und Ausbleiben ganzer Nester der Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) SCOP.) gibt es bisher kein plausibles wissenschaftliches Modell. Die allgemein angenommene Sichtweise, Pflanzen in Agrarsystemen wären allgemein eher autotroph (DAU *et al.*, 2004), gilt offensichtlich für die Distel nicht. Seltsamerweise scheint es nicht so sehr ihr Auftreten, sondern der mit ihr einhergehende Bodenzustand zu sein, welcher den Kulturpflanzenertrag mindert. Der Arbeitskreis Standortphysiologie der BTQ erforscht seit langem die Standortphysiologie landwirtschaftlicher Konkurrenzpflanzen. Dabei fand das Anbausystem mit dem Stoppelhobel der Firma Zobel (Rot am See) besonderes Interesse, weil es erlaubt, allein durch Methoden der Gareförderung auf Regulierungsmaßnahmen gegen *C. arvense* zu verzichten (HEILMANN, 2007). Dieses hauptsächlich auf Betrieben des ökologischen Landbaus mit bindigen bis schweren Böden verbreitete Anbausystem beruht auf der Förderung der bodeneigenen Lebendigkeit (Gare) und wird durch Schärlarbeiten mit gezieltem Einsatz der Egge verfolgt. In der getreidereichen Fruchtfolge kann der Klee grasanteil gering gehalten werden, weil er kaum zur Begleitpflanzenregulierung nötig ist. Er dient in erster Linie dem Futterbau. Jegliche Regulierungsmaßnahmen hinsichtlich der Distel erübrigen sich. Der Boden wird zwischen den Kulturen nur zwei bis drei Mal geschält, ohne die ggf. vorhandenen, meist zwischen 12 und 20 cm tief waagrecht streichenden Verbreitungsorgane der Disteln zu stören und ist krümelig und struktur stabil. Die besondere Wirkung des Stoppelhobels beruht auf mehreren Aspekten, von denen wohl am wichtigsten ist, dass keine frische organische Substanz unter die in Mitteleuropa bei 10 bis 15 cm Tiefe anzusetzende Garegrenze (HEILMANN, 1999) eingearbeitet wird, die Bearbeitungsgrenze immer

offenporig bleibt und der flach bearbeitete Boden immer ausweichen kann, so dass er bei der Bearbeitung keine Strukturschäden erleidet. Dabei kommen Distel und Ampfer durchaus vor. Jedoch bleiben sie meist klein. Weder sie noch die mit ihnen normalerweise einhergehende Gareschwäche mindern den Ertrag. Der Klee grasbau mit seinem Erfolg in der Distelregulierung (WEHSARG, 1954) erweist sich bei genauer Beobachtung eher als indirekt gegen die Distel wirksam, eben über die Bodengare mit ihre probiotischen Weichenstellungen, unter deren Einfluss Disteln nicht mehr ernährt werden und die Dormanz eintritt. Mit der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung lässt über die Jahre dann der Ertrag nach, die Böden werden schwerzügiger und die Begleitfora wird wüchsiger; die Dormanz von Distelsamen und -rhizomen hört auf. So beruht die Wirkung des Stoppelhobels in erster Linie auf der Förderung einer stabilen Gare.

Auf einem Stoppelhobelbetrieb gelang am 12.08.2005 mittlerweile der zweite Nachweis der Rhizomdormanz der Ackerkratzdistel. Nach der Stoppelbearbeitung waren einige Rosetten aufgetaucht, wo drei Jahre (Klee, Weizen, Roggen) lang keine Disteln gewachsen waren. Unter der Bearbeitungsgrenze zogen sich großflächig Rhizome durch den Acker, welche auch im Anbaujahr des Roggens bis zum Einsatz des Stoppelhobels keine Triebe gebildet hatten (HEILMANN, 2011). Das Dokumentationsfoto (Abb. 1) zeigt, dass der sonst krümelnde Boden um das Rhizom schmiert und in schlechter Struktur ist. Diesen pedologischen Feldbefund kann man als Verschleimung bezeichnen. (In der Diskussion kommen wir darauf zurück.) ZWÖLFER (1999) weiß von einem Dr. Fryer aus den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts, der in Oxford von einer mehrjährigen „Diapause“ von Wurzelorganen der Distel berichtete.



Abb. 1 Disteltrieb aufgrund sommerlicher flacher Bodenbearbeitung nach 3 Jahren Rhizomdormanz.

Fig. 1 Sprout of *Cirsium a. because of shallow tillage after three years of rhizome dormancy.*

Wer im ökologischen Landbau Stoppelbearbeitung in hinreichendem Flächenumfang selber durchgeführt hat, kennt aus eigener Erfahrung den höheren Bearbeitungswiderstand in Zonen von Distelbewuchs (MARKL *et al.*, 1996). Der Schlepper hat schwerer zu arbeiten, so dass man manchmal sogar herunterschalten muss. Diese in der landwirtschaftlichen Praxis bekannten und auch in Spatendiagnosen seit Jahrzehnten dokumentierten Verdichtungen (HEYL-WEILBURG, 1937; WEHSARG, 1954; MARKL *et al.*, 1996; HEILMANN, 2011) korrelieren aber nicht oder höchst selten mit Bodenbelastungen, welche durch Bearbeitungsgeräte o.ä. bewirkt hätten sein können. Andererseits kennt Praxiserfahrung, dass jede Bodenverdichtung – durch landtechnische

Maßnahmen etwa – sie auch in ihrem Auftreten fördert. ZWERGER prüfte die Hypothese, Disteln würden durch Bodenverdichtungen gefördert, indem er sie in Fässern mit unterschiedlich verdichtetem Substrat wachsen ließ; sie waren alle gleich wüchsig (ZWERGER, 2001).

Es kann zum Spontanauftreten kommen, wie es das Elfte Kirchberger Distel-Orchideen-Seminar am 29. Mai 2010 dokumentierte (HEILMANN, 2011). Dieses Phänomen gibt es auch bei Orchideen. So durchläuft der Violette Dingel (*Limodorum abortivum* (L.)) eine im Boden stattfindende Embryogenese, indem er eine um sieben Jahre währende Entwicklung in der Erde braucht, bis er hervor treibt (PRESSER, 2000). Das Bleiche Knabenkraut (*Orchis pallens* L.) durchläuft in seinen rund neun Jahren bis zur Blüte eine heterotrophe Phase von drei Jahren ohne grüne Blätter (LAUX, 1984). Orchideen haben zwar meist autotrophe Phasen; obligate Wurzelpilze spenden ihnen zusätzlich Assimilate und erlauben mixotrophe bis vollkommen heterotrophe Ernährungsmuster (PRESSER, 2000). Da die Mykorrhizen dabei oft keine erkennbaren Vorteile genießen, handelt es sich um Übergänge von Symbiosen („Lebensgemeinschaften zu gegenseitigem Vorteil“) zu Probiosen. Bei *C. arvensis* scheidet wegen nachgewiesener morphologischer und trophischer Unterschiede ein identisches, rein mykotrophes Ernährungsmodell wie bei einigen Orchideen aus. Andererseits sind Disteln mit großer Regelmäßigkeit mit der Breitblättrigen Ständelwurz (*Epipactis hellborine*) vergesellschaftet, so dass eine standortphysiologische Vergleichbarkeit nahe liegt. Diese Erscheinung findet sich in Hausgärten oder Parkanlagen, wo sich unter Bodendeckern Rohhumus ansammelt, dessen langsamer Abbau in Parallelität mit geringer Durchwurzelung zu einem Überangebot organischer Substanz führt.

Sofern sich eine Minderung des Ertrags bei Kulturpflanzen finden lässt, gibt es im Frühjahr auch „Bodenverdichtungen“ und pH-Wert-Änderungen. Es gibt zwei Formen systematischen Auftretens, die wir als diskret bezeichnen. Es handelt sich um Distelnester und Distelringe, welche bei den Disteln im Frühjahr pH-Wert-Erniedrigungen und Bodenverdichtungen sowie eine ausgesprochene Kulturpflanzenkonkurrenz zeigen; die anderen Flächen der gleichen Äcker sind distelfrei (HEILMANN, 2011). Eine weitere Verbreitungsform zeigt ein irreguläres Muster, indem ganze Äcker unterschiedlich triebige Distelsprosse tragen; keine Fläche ist distelfrei. Dieses Muster tritt häufig am Ende von Fruchtfolgen auf ökologischen Betrieben, nämlich vor dem Klee grasbau, auf. Der ganze Acker weist dann meist einen relativ niedrigen pH-Wert und schlechte, ungleichmäßige Bodenstruktur auf.

Da es der Nahrungsspielraum ist, welcher weitestgehend die Verbreitung eines Organismus bestimmt (FRANCÉ, 1921), schien es angezeigt, eine Modellprüfung der Heterotrophithese durchzuführen.

Material und Methoden

Es wurde die Hypothese aufgestellt: „Bei der Distel gibt es keine saprophytischen Ernährungsbeiträge aus dem Boden“. Dazu wurden im August nach der Getreideernte von Äckern ökologisch wirtschaftender Betriebe, von denen keiner mit dem Stoppelhobel arbeitet, 7 Paarungen von Bodenproben mit den Varianten „ohne Disteln“ und „mit Disteln“ gezogen. Es wurden von zwei Äckern Beispiele irregulären Auftretens (I1 und I2), sowie entsprechende Herkünfte diskreten Auftretens gewählt, wozu zwei Distelnester (D1 und D2) sowie ein Ring in einem Maisfeld (mit drei Wiederholungen) herangezogen wurden. Distelringe ähneln in ihrem Auftreten Hexenringen auf Wiesen und treten wie diese in Jahren mit stärkeren Niederschlagsperioden weniger auf. Die Proben wurden aus einer Tiefe von 0 bis 12 cm gezogen. Bei den Varianten mit Disteln D1 und D2 sowie R1 – R3 traten Bodenverdichtungen auf; da dies eine wiederholt beschriebene Begleiterscheinung darstellt (HEYL-WEILBURG, 1937; WEHSARG, 1954; MARKL *et al.*, 1996; HEILMANN, 2011) interessierte die standortphysiologische Charakteristik und systemwissenschaftliche Plausibilität mehr als die schon bekannte Faktizität.

Im Labor des Fachgebietes Bodenbiologie (Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim) wurde der extrahierbare Anteil an Kohlenstoff und Stickstoff bestimmt.

Die Extraktion der organischen C- und N-Verbindungen erfolgte mit 0,5 M Kaliumsulfatlösung. Anschließend wurde der organische Kohlenstoff (TOC = total organic carbon) und der organische Stickstoff (TON = total organic nitrogen) am TOC-Analysator (Analytik Jena Multi N/C 2100S) bestimmt. Die Ergebnisse wurden mit dem T-Test auf Signifikanz geprüft.

Ergebnisse

Der Unterschied in den Analysewerten des extrahierbaren organischen Kohlenstoffs (Tab. 1) bei den Bodenproben „ohne Disteln“ zu „mit Disteln“ ist nach T-Test signifikant gesichert (Irrtumswahrscheinlichkeit: 2,95 %). Seine Aussage bezieht sich darauf, dass in den Bodenarealen „ohne Disteln“ in jeder der sieben Proben – im Durchschnitt 37 % - mehr an extrahierbaren organischen Substanzen (im Maß des daran beteiligten Kohlenstoffs) verfügbar war. Die Disteln haben also bei jedem untersuchten Variantenpaar den Anteil extrahierbarer organischer Substanz vermindert.

Tab. 1 Extrahierbare organische Substanz ($\mu\text{g EOC g}^{-1}$ soil dw).

Tab. 1 Extractable organic Matter ($\mu\text{g EOC g}^{-1}$ soil dw).

Variante	I1	I2	D1	D2	Ring a	Ring b	Ring c	Durchschnitt
ohne Disteln	38,1	29,4	31,3	75,4	73,1	49,5	74,6	53,1
mit Disteln	33,3	23,4	26,3	55,4	34,0	46,1	52,7	38,8
Differenz	4,8	6,0	4,9	20,0	39,1	3,5	21,9	14,3

Die Nitratwerte (Tab. 2) kennzeichnen die Konkurrenzproblematik zwischen Disteln und Kulturpflanze deutlich: die Areale „ohne Disteln“ weisen 65 % höhere Werte auf. In fünf der sieben Varianten haben die Disteln den Nitratgehalt vermindert. Dieser Unterschied muss vom Durchschnitt her als sehr groß angesehen werden, wenn er auch wegen der unterschiedlichen Standorte als statistisch nicht signifikant angesehen werden muss.

Tab. 2 Nitrat (NO_3 mg/l).

Tab. 2 Nitrate (NO_3 mg/l).

Variante	I1	I2	D1	D2	Ring a	Ring b	Ring c	Durchschnitt
ohne Disteln	2,3	2,6	1,3	17,3	3,0	2,6	3,5	4,7
mit Disteln	2,5	2,3	1,6	6,8	2,7	2,2	1,7	2,8
Differenz	-0,1	0,2	-0,3	10,5	0,3	0,4	1,8	1,8

Auch die Analysewerte des extrahierbaren Stickstoffes (Tab. 3) reflektieren drastische Unterschiede; in den Arealen „ohne Disteln“ sind die Extraktwerte 94 % höher. Wegen der standort- und kulturabhängigen Unterschiede ist der große Unterschied statistisch zwar nicht signifikant gesichert. Wie in den gleichen fünf der sieben Varianten des vorherigen Parameters haben die Disteln den Gehalt extrahierbaren Stickstoffs aber so vermindert, dass dort nur rund 50 % des Nitratstickstoffs zu finden war.

Tab. 3 Extrahierbarer Stickstoff ($\mu\text{g EN g}^{-1}$ soil dw).

Tab. 3 Extractable Nitrogen ($\mu\text{g EN g}^{-1}$ soil dw).

Variante	I1	I2	D1	D2	Ring a	Ring b	Ring c	Durchschnitt
ohne Disteln	7,9	10,7	2,2	82,7	14,3	9,9	14,2	20,3
mit Disteln	8,5	7,6	4,1	29,0	9,7	7,7	6,8	10,5
Differenz	-0,6	3,1	-1,9	53,7	4,6	2,2	7,4	9,8

Diskussion

Diese Untersuchung zeigt bei drei Bodenparametern, dass im Wurzelbereich von Disteln und Kulturpflanzen weniger extrahierbare organische Substanzen allgemein, weniger Nitrat und weniger extrahierbarer Stickstoff vorhanden sind als im Wurzelbereich der Oberkrume (0 – 12 cm) allein der Kulturpflanzen. Dabei ist der durchschnittliche Unterschied beträchtlich. Von besonderer Bedeutung ist, dass sich alle drei Ausbreitungsmuster der Distel gleich verhalten. Folgeuntersuchungen sollten auf diese unterschiedlichen Ausbreitungsmuster und den Jahresgang der Bodenparameter eingehen. Der statistisch signifikante Unterschied in der Untersuchung auf extrahierbare organische Substanzen erlaubt die Aussage: „Disteln nutzen kohlenstoffhaltige Verbindungen zu ihrem stofflichen und/oder energetischen Metabolismus“. Da Disteln wie die meisten höheren Pflanzen aufgenommene organische Substanzen energetisch nutzen können, kann dies als Kennzeichnung saprophytischer Ernährung angesehen werden. Zusammenfassend ist also die Hypothese „Bei der Distel gibt es keine saprophytischen Ernährungsbeiträge aus dem Boden“ zurückzuweisen. Die Ergebnisse geben hinreichend Anhaltspunkte für saprophytische Beiträge aus dem Boden, welche das Wachstum der Distel fördern.

In Jahrzehnten eigener Spatendiagnosen in allen Monaten des Jahres konnte beobachtet werden, dass die typischen Distelstandorte durch Verschleimung geprägt sind. Diese Verschleimung entwickelt sich in der zweiten Frühjahrshälfte beobachtbar zu den das Distelaufreten mit Regelmäßigkeit begleitenden „Verdichtungen“, deren Muster nicht durch landtechnische Bodenbelastungen hervorgerufen sein kann. Die botanisch orientierte Zeigerpflanzen-systematik misst Disteln keinen Zeigerwert bei und bezeichnet sie als Ubiquist „verschiedenartiger, meist nährstoffreicher Standorte“ (BOAS, 1958), während WEHSARG (1954) sie aufgrund landwirtschaftlicher Erfahrung als Lehmzeiger ansieht. Lehme kennzeichnen sich durch langsame bis träge Umsetzung organischer Substanz. In der Bodenbearbeitung weisen diese Standorte geringe Belastbarkeit hinsichtlich Druck und Schlupf auf. Sie sind besonders auf Anbausysteme angewiesen, welche die Gare des Bodens als Hauptziel verfolgen. Da von uns Gareschäden und Garezusammenbruch regelmäßig als Grundlage stärkerer Verunkrautung angetroffen werden, sei auf das Stichwort „Gare“ kurz näher eingegangen. Ein Handbuch für den praktischen Landwirt widmet dem ein eigenes Kapitel und führt u.a. aus (DIECKMANN, 1943): „Wie gares Brot und ungarer Teig sich unterscheiden, so ist gares Land von totem, unfruchtbarem Boden verschieden... Oft ist der frische „Erdgeruch“ wahrnehmbar. Eine Roggenstoppel ist häufig hart und nicht gar, eine Raps- oder Wickenstoppel aber ist meist gar. Der Schwerpunkt der ganzen Feldbestellung liegt in dieser Gare und der Landwirt, der das nicht begriffen hat und nicht für die Gare sorgt, soll einen anderen Beruf ergreifen.“

Das System mit dem Stoppelhobel erlaubt ein gareförderndes Bearbeitungssystem durch seine flache Arbeitsweise, bei welcher der bearbeitete Boden immer ausweichen kann, also geringem Druck ausgesetzt ist. Die stets offenporige Bearbeitungsgrenze und die geringe Einarbeitungstiefe organischer Substanz fördern die ununterbrochene Atmungsfähigkeit der beteiligten Bodenzonen. Insofern kann die Kombination von Leguminosenbau und gezielter Schälarbeit als Basis ökologischen Landbaus angesehen werden (KAHNT, 2008).

Das Neuartige des hier vorgeschlagenen Verständnisansatzes besteht darin: mixotrophe Pflanzen sind in ihrer Verbreitung in der Landschaft an ihre heterotrophe Nahrungsquelle gebunden. Das ist normalerweise als Mutualismus vom Typ eines Parasitismus, einer Symbiose oder Probirose ausgeprägt, kann aber auch saprophytische Elemente aufweisen. Wenn im Boden also Gareformen dominieren, welche mikrobiologische Aspekte (Keimung, Brechung der Dormanz!) mit hohen Werten extrahierbarer organischer Substanz miteinander verbinden, entwickeln solche Äcker für Disteln probiotische Eigenschaften. Im Zuge des Umbaus organischer Substanz im Boden – so unsere Interpretation – erfolgt immer auch eine Freisetzung niedermolekularer Verbindungen, welche von den Kulturpflanzenwurzeln oder der Gare aufgenommen werden. Gare bedeutet unserer Erfahrung nach nicht allgemein Freisetzung von Mineralstoffen und

niedermolekularen organischen Verbindungen, sondern kann auch Immobilisierung von Mineralstoffen und Einbau organischer Verbindungen bedeuten. Ist die Aufnahme geringer als die Freisetzung, wenn etwa bei pflanzenbaulichen Fehlern Kulturpflanzen sie nicht quantitativ aufnehmen, können sie sich als Schleim sammeln, welcher Disteln, Quecke und Ampfer als Nahrungsgrundlage dient. Ist die Freisetzung höher als die Aufnahme – etwa bei organischer Überdüngung, werden zusätzlich zum Kulturpflanzenertrag noch Disteln aus dem Boden getrieben. Auch wenn ein Boden nach Fäulnis oder Muffigkeit riecht, scheint die Freisetzung höher zu sein als die Aufnahme. Bei Distelringen könnte die ringförmige Ausbreitung eines Pilzes Disteln eine Ernährungsgrundlage bieten, weil mehr niedermolekulare Verbindungen freigesetzt werden als die Kulturpflanzen aufnehmen können. Die erfolgreiche Regulierungswirkung auf *C. arvense* durch Klee gras ist nach allen Erfahrungen einerseits unumstritten (HÄUBLER *et al.*, 2004); andererseits muss ihre Grundlage diskutiert und ggf. näher geklärt werden. Es ist offensichtlich nicht der Klee grasbau selber, welcher in seiner Nutzung oder seinen Mulchmaßnahmen wirkt, sondern seine intensive Durchwurzelung mit dem ausgeprägten Aneignungsvermögen von Futterleguminosen; jeder noch so kleine Mäuseschaden, jede Fehlstelle entbehrt nämlich dieser Durchwurzelung, verfällt in der Gare und trägt weiter Distel und Ampfer. Es scheint also möglich, die Regulierung von *C. arvense* durch Minderung ihrer heterotrophen Nahrungsgrundlagen im Boden zu verfolgen.

Insofern besteht die landeskulturelle Aufgabe des Landwirts offensichtlich also in erster Linie darin, Gareformen zu fördern, welche hinsichtlich der Distel zu „non-feeding“-Eigenschaften des Bodens führen. Die Aspekte Rhizomdormanz, Brechung der Dormanz, Keim- und Sprossneigung, pH-Wert und Bodenstruktur im Wurzelbereich usw. werden weiter untersucht werden müssen. Der chemisch-pedologische Charakter der beobachteten herbstlich-winterlichen Schleime, die sich im Frühjahr zu „Verdichtungen“ entwickeln, soll als nächstes geklärt werden.

Danksagung

Den Mitgliedern der BTQ, besonders dem Arbeitskreis Standortphysiologie, sei für die praktische Kooperation und – zusammen mit der DAMUS-Stiftung - für die finanzielle Unterstützung sowie der Abteilung für Bodenbiologie des Instituts für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim für die analytische und interpretatorische Zusammenarbeit ganz herzlich gedankt.

Literatur

- BOAS, F., 1958: Zeigerpflanzen. Hannover, Verlagsgesellschaft für Ackerbau, 432 S.
- DAU, A., B. WASSMUTH, H.-H. STEINMANN und B. GEROWITT, 2004: Keimung und Entwicklung von *Cirsium arvense* unter Lichtkonkurrenz - ein Modellversuch. In: Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XIX**, 169-176.
- DIECKMANN, K., 1943: Schlipfs praktisches Handbuch der Landwirtschaft. Berlin, Verlag von Paul Parey, 498 S.
- FRANCÉ, R.H., 1921: Das Leben der Pflanze Band II. Stuttgart, Franckh'sche Verlagshandlung, 536 S.
- HÄUBLER, A., A. VERSCHWELE und P. ZWINGER, 2004: Bedeutung von Stoppelbearbeitung und Fruchtfolge für die Regulierung der Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. In: Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft **XIX**, 563-572.
- HEILMANN, H., 1999: Vom Umgang mit organischen Prozessen im Boden. In: Ökologie und Landbau **110**, 27. Jahrgang 2/1999. Bad Dürkheim, Verlag Stiftung Ökologie und Landbau, 10 –15.
- HEILMANN, H., 2005: Bodenbearbeitung und Betriebsgleichgewicht. Lebendige Erde **5** / 2005. Darmstadt, Verlag Lebendige Erde, 18 – 21.
- HEILMANN, H., 2007: <http://btq-bundesverband.de/downloads/kurzanweisung-stoppehobel.pdf>.
- HEILMANN, H., 2011: Probiotische Aspekte des Auftretens der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop) im Lichte eines ganzheitlichen Forschungsansatzes. Leithold, G.; K. Becker, C. Brock, S. Fischinger, A.-K. Spiegel, K. Spory, K.-P. Wilbois und U. Williges (Hrsg.): Band 1 des Tagungsbandes der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. BERLIN, VERLAG DR. KÖSTER, 244 – 247.
- HEYL-WEILBURG, 1937: Die Pflanzen. Landwirtschaftliche Lehrbuchreihe. 2. Teil. Berlin, Reichsnährstandsverlagsgesellschaft, 226 S.
- KAHNT, G., 2008: Leguminosen. Frankfurt, DLG-Verlag, 151 S.
- LAUX, H.E. und R. KELLER, 1984: Unsere Orchideen. Biberach an der Riss, Thomae, 108 S.
- MARKL, J. und U. HAMPL, 1996: Bodenfruchtbarkeit selbst erkennen. Holm, Deukalion Verlag, 80 S.
- PRESSER, H., 2000: Die Orchideen Mitteleuropas und der Alpen. Landsberg/Lech, ecomed-verlagsgesellschaft, 375 S.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

WEHSARG, O., 1954: Ackerunkräuter. Berlin, Akademie – Verlag, 293 S.

ZWERGER, P., 2001: Persönliche Mitteilung im Institut für Unkrautforschung der BBA Braunschweig 23.07.2001.

ZWÖLFER, H., 1999: Persönliche Mitteilung.

Rezente Veränderungen von Unkrautflora und -management als Basis für zukünftige Managementanpassungen

Recent changes of arable weeds flora and management as a basis for future adaptations

Laura Breitsameter* und Horst-Henning Steinmann

Georg-August-Universität Göttingen, Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung,
Sektion Landwirtschaft und Umwelt, Grisebachstr. 6, 37077 Göttingen, Deutschland

*Korrespondierender Autor, lbreits@agr.uni-goettingen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.027

Zusammenfassung

Die über die vergangenen Jahrzehnte beobachteten Veränderungen der Unkrautflora, welche durch Klimawandel und Veränderungen in Landnutzung und Bewirtschaftungspraxis verursacht werden, erfordern eine adäquate Anpassung des Unkrautmanagements. In dem vorliegenden Beitrag wird für das Bundesland Niedersachsen anhand von zwei Datenquellen ein Wandel der Unkrautflora nachgezeichnet und rezente Veränderungen des Unkrautmanagements dargestellt. Hierfür wurde zum einen unter Fachleuten aus landwirtschaftlicher Beratung, Behörden und Industrie eine Expertenbefragung durchgeführt, anhand derer qualitativ bestimmt wurde, welche Unkrautarten oder -gruppen in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen oder verloren haben, und welche Entwicklungen der Bedeutung einzelner Unkrautarten künftig zu erwartenden sei. Zusätzlich wurden mögliche zukünftige Anpassungen und Herausforderungen des Unkrautmanagements erfragt. Zum anderen wurden anhand der Versuchsberichte zum Pflanzenschutz der Landwirtschaftskammer Niedersachsen für mehrere Kulturarten für den Zeitraum von den frühen 1980er Jahren bis in die Gegenwart Veränderung der Praxis der Herbizidanwendung nachgezeichnet. Die Daten geben deutliche Hinweise darauf, dass eine Reihe von Unkrauttaxa in den vergangenen 30 Jahren stark an Relevanz gewonnen hat, insbesondere Hirse- und Storchschnabel-Arten, Ackerfuchsschwanz und Gänsefuß. Der direkte Einfluss des Klimas auf die Ackerunkrautflora ist dabei nicht von Effekten einer veränderten Bewirtschaftungspraxis zu trennen, welche wiederum selbst durch den Klimawandel beeinflusst wird. In der landwirtschaftlichen Praxis erfolgte über die vergangenen Jahrzehnte unter anderem eine Anpassung der Behandlungstermine, zum Beispiel eine vermehrte Herbstbehandlung im Winterweizen. Die bisherigen Veränderungen können eine Grundlage für die Entwicklung von Managementanpassungen für die Zukunft liefern. Hierzu ist das Wissen über ihre Ursachen mit Erkenntnissen aus der Klimafolgenforschung zu ergänzen. Wie bei der Interpretation vergangener Entwicklungen ist es auch bei Prognosen für die Zukunft nicht möglich, den Einfluss sich ändernden Klimas von Bewirtschaftungseffekten zu trennen. Beispielsweise hat die Fruchtfolge eine selektierende Wirkung auf Unkrautgruppen und die Konzentration des Maisanbaus kann Effekte einer Temperaturerhöhung für wärmeliebende sommerannuelle Arten verstärken.

Stichwörter: Behandlungstermine, bekämpfungsrelevante Arten, Expertenbefragung, Klimawandelfolgen

Abstract

In the course of the past decennia, numerous shifts of the arable weeds flora have been observed as a result of climate change and of changes of land use and agricultural management practice. These shifts necessitate appropriate adaptations of weed management. The present study depicts alterations of the arable weeds flora of Lower Saxony based on data from two different sources, and describes recent changes of arable weeds management. We firstly conducted a questionnaire-based survey among plant protection consultants and experts of agronomy and plant protection in industry and the federal agriculture authorities. This survey was aimed at identifying which weed taxa have gained or lost relevance for management, and which tendencies with regard to their relevance is expected according to expert knowledge. In addition, the experts were asked for information on possible adaptations and challenges of weed management expected for the future. Secondly, we used protocols of plant protection trails published by the Lower Saxony chamber of agriculture in order to determine alterations of the weed management practice since the 1980s. The screened data gave a clear indication of an increase of the relevance during the past 30 years for a number of weed taxa, in particular for several millet taxa, *Geranium* species, *Alopecurus myosuroides* and *Chenopodium album*. In the evaluation of changes of the relevance of individual weed taxa, the impact of climate change cannot be segregated from effects of altered agricultural practices, which are in turn themselves influenced by climate change. Records of the agricultural practice have pointed out shifts in herbicide application dates which parallel altered sowing dates, e. g., an increase in the frequency of herbicide application in autumn rather than in spring for winter

wheat. The recent shifts of weed flora and management practices can serve as a basis for the development of management adaptations for the future. To this purpose, a sound understanding of their causes is indispensable, and it needs to be complemented with knowledge obtained from climate change research. As with the interpretation of past shifts, in projections for the future it will not be possible to disentangle climate and management effects. For example, crop sequence is known to select for certain weed life history groups, and a concentration of maize cultivation can therefore enhance the positive effects of a warmer climate for thermophile summer annual weed taxa.

Keywords: Climate change impact, expert knowledge, herbicide application dates, management-relevant taxa

Einleitung

Bedingt durch den Klimawandel und durch Veränderungen in Landnutzung und Bewirtschaftungspraxis wird in vielen Regionen der Welt ein Wandel der Abundanz und des Schadpotentials unterschiedlicher Taxa von Ackerunkräutern beobachtet (für Europa z. B. MEISSELE *et al.*, 2010; für Nordamerika z. B. McDONALD *et al.*, 2009). Diese Veränderungen der Unkrautflora erfordern eine adäquate Anpassung des Unkrautmanagements.

Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, für das Bundesland Niedersachsen einige der über die vergangenen Jahrzehnte eingetretenen Veränderungen der Unkrautflora und des Unkrautmanagements nachzuzeichnen. Sie sollen als eine Basis für die Entwicklung von Managementoptionen für die Zukunft dienen.

Anhand von zwei Datenquellen wurden Veränderungen des behandlungsrelevanten Artenspektrums und der in der Praxis angewandten Maßnahmen ermittelt:

Zum einen wurde unter Fachleuten aus landwirtschaftlicher Beratung, Behörden und Industrie eine Expertenbefragung durchgeführt, durch die qualitativ bestimmt wurde, welche Unkrauttaxa in den vergangenen Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen haben oder für welche Arten ein Rückgang beobachtet wurde. Zusätzlich wurde auch die Einschätzung der Befragten über zukünftig zu erwartende Entwicklungen hinsichtlich der Bedeutung einzelner Unkrauttaxa und über mögliche zukünftige Veränderungen und Herausforderungen des Unkrautmanagements erfragt.

Zum anderen wurden für mehrere Kulturarten für den Zeitraum von den frühen 1980er Jahren bis in die Gegenwart einige Veränderungen der Herbizidanwendungspraxis nachgezeichnet, welche auf den Klimawandel zurückführbar sein können. Als Datengrundlage hierfür dienten die Versuchsberichte zum Pflanzenschutz der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Diese geben für unterschiedliche Standorte, Kulturen und regional relevante Befunde der Verunkrautung die jeweils entsprechende bestmögliche Behandlung unter Vergleich unterschiedlicher Behandlungsoptionen an.

Die Auswertung des in diesen beiden Quellen dokumentierten rezenten Wandels wurde in Zusammenschau mit der Experteneinschätzung über zukünftig zu erwartende Veränderungen betrachtet und durch aktuelle Erkenntnisse der Klimafolgenforschung ergänzt. Hiervon ausgehend werden Herausforderungen und Optionen für ein zukünftiges Unkrautmanagement in Niedersachsen aufgezeigt.

Material und Methoden

Expertenbefragung

Im Frühjahr 2013 wurde eine Befragung von Expertinnen und Experten aus Pflanzenbau und Pflanzenschutz (Fachreferent*Innen der LWK Niedersachsen, BeraterInnen aus Industrie und aus niedersächsischen Landwirtschafts-Beratungsringen) durchgeführt. Die Befragung erfolgte mittels eines Fragebogens und deckte zwei Bereiche ab:

Zum einen sollten die Befragten aus einer vorgegebenen Liste diejenigen Arten markieren, die derzeit besondere Relevanz für das Unkrautmanagement in ihrem Beratungsgebiet haben. Die Liste umfasste die überwiegend wärmeliebenden Arten Amarant (*Amaranthus retroflexus*), Grüne Borstenhirse (*Setaria viridis*), Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), Knöterich-Arten (*Fallopia*

convolvulus, *Polygonum aviculare* und *P. persicaria*), Samtpappel (*Abutilon theophrasti*), Schlagkraut (*Iva xanthiifolia*), Schw. Nachtschatten (*Solanum nigrum*), Stechapfel (*Datura stramonium*), Stiefmütterchen (*Viola arvensis*), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*) und Winden-Arten (*Calystegia sepium*, *Convolvulus arvensis*). Die Vorauswahl dieser Arten erfolgte im Zusammenhang mit anderen Forschungsfragen (BÜRGER *et al.*, 2014; BREITSAMETER *et al.*, 2014). Die befragten Personen sollten ferner spezifisch für ihr jeweiliges Beratungsgebiet ihre Einschätzung bezüglich bisheriger und zukünftig zu erwartender Veränderungen der Relevanz (zunehmend und/oder abnehmend) weiterer Unkrautarten oder -gruppen abgeben. Sie konnten die Unkrauttaxa hierfür frei nennen. Als Zeithorizont wurden für bisherige Entwicklungen die vergangenen 20 bis 30 Jahre, für in die Zukunft gerichtete Aussagen die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts beziffert.

Zum anderen sollten die Befragten Angaben über zukünftig (für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts) erwartete Veränderungen und Herausforderungen des Unkrautmanagements machen. Hierfür sollten sie zu bestimmten Thesen ihre Einschätzung auf einer Skala mit fünf Stufen markieren (trifft zu – trifft eher zu – indifferent – trifft eher nicht zu – trifft nicht zu).

Berichte zum Pflanzenschutz

Für die vorliegende Studie wurden Berichte zum Pflanzenschutz der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Northeim und des Pflanzenschutzamtes Hannover für die Kulturen Winterweizen, Mais, Winterraps und Zuckerrübe aus den Jahren 2012 bis 2009, 2002 bis 1999, 1992 bis 1989 sowie 1982 bis 1980 herangezogen. Diese dokumentieren Versuche, die an jeweils für bestimmte Fragestellungen des Unkrautmanagements repräsentativ gewählten Standorten durchgeführt wurden. Die Versuche spiegeln, abgesehen von wenigen sehr speziellen Ausnahmen, den jeweils aktuellen Stand des Pflanzenschutzes und der Anbaubedingungen wider. Betrachtet wurden Daten zur Unkrautbekämpfung, unter anderem das Artenspektrum, gegen das eine Behandlung erfolgte, die Anwendungstermine (absolut und ihr zeitlicher Abstand zur Aussaat) sowie die Anzahl der durchgeführten Behandlungen. Da die Zahl der zur Verfügung stehenden Datensätze bisweilen vergleichsweise gering (insbesondere für Raps und Zuckerrübe) und über den gesamten betrachteten Zeitraum von 30 Jahren hinweg stark unbalanciert war (beispielsweise knapp 40 Datensätze für Winterweizen für 2012 bis 2009 im Gegensatz zu <10 für 1992 bis 1989), wurden die in den Berichten hinterlegten Informationen nicht statistisch ausgewertet, sondern gingen als qualitative Daten in die vorliegende Studie ein.

Ergebnisse

Expertenbefragung

Insgesamt wurde der Fragebogen von 26 Expertinnen und Experten aus Pflanzenbau und Pflanzenschutz aus ganz Niedersachsen beantwortet. Davon gaben 16 Personen eine Tätigkeit in landwirtschaftlichen Beratungsringen, der Landwirtschaftskammer oder anderen landwirtschaftlichen Behörden an, und waren 10 Personen beratend für die Industrie tätig. Die Teilnehmenden verteilten sich in Bezug auf das jeweils von ihnen betreute Beratungsgebiet so auf das Landesgebiet, dass jeder Landkreis mit mindestens einem Antwortbogen vertreten war; die Anzahl Fragebögen pro Landkreis reichte von 1 bis 4, im Durchschnitt lagen pro Landkreis 3 beantwortete Fragebögen vor. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung ohne regionale Differenzierung nach Beratungsgebieten oder nach Tätigkeitsbereich der Befragten dargestellt.

Für das Unkrautmanagement derzeit relevante Arten

Aus der Liste der vorgegebenen Arten/Taxa wurden von der Mehrheit der Befragten ($n \geq 19$) Nachtschatten, Gänsefuß, Knöterich-Arten, Hühnerhirse, Stiefmütterchen und Winden-Arten als derzeit behandlungsrelevant angegeben. Deutlich weniger häufig war die Nennung von Borstenhirse, Stechapfel und Amarant ($n \leq 12$); Samtpappel und Schlagkraut wurden von keinem der Experten als in ihrem Gebiet für die Bekämpfung relevante Arten angegeben (Tab. 1).

Tab. 1 Ergebnisse der Befragung von ExpertInnen im Bereich Pflanzenbau und Pflanzenschutz in Niedersachsen über derzeit für das Unkrautmanagement relevante Arten/Taxa. Gesamtzahl der Befragten: n = 26.

Tab. 1 Results of a questionnaire-based study involving experts in agronomy and plant protection for Lower Saxony on species/taxa that are currently relevant for weed management. Total number of respondents, n = 26.

	Anzahl Nennungen
Nachtschatten (<i>Solanum nigrum</i>)	21
Gänsefuß (<i>Chenopodium album</i>)	20
Knöterich-Arten	20
Hühnerhirse (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	19
Stiefmütterchen (<i>Viola arvensis</i>)	19
Winden	19
Borstenhirse (<i>Setaria</i> ssp.)	12
Amarant (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	5
Stechapfel (<i>Datura stramonium</i>)	2
Samtpappel (<i>Abutilon theophrasti</i>)	0
Schlagkraut (<i>Iva xanthiifolia</i>)	0

Rezente und für die Zukunft erwartete Veränderung der Relevanz einzelner Unkrauttaxa

Für Storchschnabel-Arten, Hirse-Arten (n ≥ 10), Knöterich-Arten, Gänsefuß und Ackerfuchsschwanz (n ≥ 6) wurde von vergleichsweise vielen der befragten Experten eine Zunahme über die vergangenen Jahrzehnte angegeben. Laut einer ähnlichen Anzahl von Antwortbögen wird für diese Arten auch zukünftig eine Zunahme erwartet (Tab. 2). Bei einer Reihe von Arten zeigten sich insgesamt widersprüchliche Angaben zu ihrer bisherigen Entwicklung beziehungsweise hinsichtlich der Prognose der zukünftigen Entwicklung ihrer Relevanz; dies war beispielsweise für Stiefmütterchen, Klettenlabkraut, Flughafer und Windhalm der Fall, für die etwa gleich wenige (n = 1 bis 2) Antwortbögen eine bisherige/zukünftig zu erwartende Zunahme oder Abnahme nannten (Tab. 2). Eine bisher ausschließliche Abnahmetendenz und weitere erwartete Abnahme wurden für Weidelgras, Ackerhohlnuss und Franzosenkraut genannt. Insgesamt wurden zum Großteil der in Tabelle 2 aufgeführten Arten im Rahmen dieses Teils der Umfrage nur von einzelnen Experten (n = 1 bis 3) Angaben gemacht.

In Bezug auf allgemeine, für die Zukunft zu erwartende Veränderungen der Unkrautflora als Folgen des Klimawandels (trockenere Sommerhalbjahre, Frühsommertrockenheit, feuchtere Winter, höhere Jahresmittel-Temperatur, früherer Vegetationsstart im Frühjahr) gaben alle befragten Experten an, dass sie davon ausgehen, dass auch zukünftig neue Arten nach Niedersachsen einwandern werden (Tab. 3). Sie schätzten übereinstimmend ein, dass wärmeliebende Arten zukünftig profitieren würden; für ausdauernde Arten bejahten sie dies dagegen weniger eindeutig. Die Einschätzung, dass Herbstkeimer künftig profitieren würden, wurde zwar von einem Großteil der Experten geteilt, jedoch gab auch knapp ein Fünftel der Befragten an, diese Entwicklung nicht zu erwarten (Tab. 3).

Tab. 2 Ergebnisse einer Befragung von Experten im Bereich Pflanzenbau und -schutz in Niedersachsen über bisher beobachtete (vergangene 20 bis 30 Jahre) und für die Zukunft erwartete (zweite Hälfte des 21. Jhd.) Veränderungen der Relevanz von Arten und Artengruppen der Ackerunkrautflora (freie Nennungen, in der Regel wurden deutsche Gattungs- oder Gruppennamen, z. B. „Kamille“ genannt). Gezeigt wird die Anzahl der Nennungen der betreffenden Art/Gruppe (Gesamtzahl der Befragten: n = 26). Einzelnennungen siehe Auflistung unter der Tabelle.

Tab. 2 Results of a questionnaire-based study involving experts in agronomy and plant protection in Lower Saxony on recent changes of the relevance of individual weed taxa (past 20 to 30 years) and changes expected for the future (second half of the 21st century). For each species or taxon, the number of calls is given (total number of respondents: n = 26). Singleton answers are listed below the table.

	Bisher Zunahme	Zukünftig Zunahme erwartet	Bisher Abnahme	Zukünftig Abnahme erwartet
----- Anzahl der Nennungen -----				
Storchschnabel	14	10	-	-
Hirsen	10	11	-	-
Borstenhirse	5	4	-	-
Fingerhirse	2	2	-	-
Knöterich	8	6	-	1
Ackerfuchsschwanz	6	5	-	-
Gänsefuß	6	3	-	-
Nachtschatten	3	3	-	-
Kamille	3	3	2	1
Stiefmütterchen	3	2	1	2
Bingelkraut	2	4	-	-
Mohn	2	3	-	-
Kornblume	2	2	-	-
Hirtentäschel	2	1	-	-
Stechapfel	2	1	-	-
Ehrenpreis	2	1	1	1
Rispe	1	2	-	-
Amarant	1	2	-	-
Strandsimse	1	1	-	-
Trespe	1	1	-	-
Ackerwinde	1	1	-	-
Ausfallraps	1	1	-	-
Barbarakraut	1	1	-	-
Hundspetersilie	1	1	-	-
Wegrauke	1	1	-	-
Quecke	1	1	-	1
Windhalm	1	1	1	2
Flughäfer	1	1	2	1
Klettenlabkraut	1	1	4	1
Vogelmiere	1	-	1	2
Distel	-	2	-	-
Weidelgras	-	-	1	1
Ackerhohlzahn	-	-	1	1
Franzosenkraut	-	-	1	1

Einzelnennungen bisher Zunahme:

Ambrosie, Ampfer, Bärenklau,
Jakobskraut, Kerbel, Malven, Melde,
Pfaffenhütchen, Rauke, Samtpappel
Berufkraut, Hundskerbel, Stechapfel

Einzelnennungen zukünftig Zunahme erwartet:

Einzelnennungen bisher Abnahme:

Taubnessel

Einzelnennungen zukünftig Abnahme erwartet:

Winden

Vergleichsweise heterogen stellte sich die Einschätzung der befragten Experten zu für die Zukunft erwarteten Veränderungen und Herausforderungen im Hinblick auf das Unkrautmanagement dar (Tab. 3). Eine verminderte Wirksamkeit von Bodenherbiziden wurde von knapp der Hälfte der Befragten erwartet, wobei hier viele Befragte eine indifferente Meinung angaben. Eine zu erwartende Verschlechterung der Wirkung von Blattherbiziden wurde dagegen von der Hälfte der Befragten verneint. Mehr als zwei Drittel der Befragten erwarten zukünftig eine höhere Anzahl von Herbizidbehandlungen und eine Verschiebung der Bekämpfungstermine. Sehr uneinheitlich ist dagegen die Einschätzung in Bezug auf die zukünftig notwendige Erhöhung der Aufwandmengen und der Häufigkeit mechanischer Bekämpfung (Tab. 3).

Tab. 3 Ergebnisse einer Befragung von Experten im Bereich Pflanzenbau und Pflanzenschutz in Niedersachsen über einen für die Zukunft (zweite Hälfte des 21. Jhd.) zu erwartenden Wandel der Unkrautflora und zu erwartende Veränderungen und Herausforderungen des Unkrautmanagements. Angaben in % der Gesamtzahl (n = 26) der erhaltenen Antwortbögen.

Tab. 3 Results of a questionnaire-based study among experts in agronomy and plant protection in Lower Saxony on changes of the weed flora and challenges for weed management that are expected for the future (second half of 21st century). Values are % of the total number of respondents (n = 26).

	Trifft zu	Trifft eher zu	Indifferent	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Keine Angabe
	----- % -----					
Weitere neue Arten werden einwandern	62	38				
Wärmeliebende Arten profitieren	65	35				
Herbstkeimer profitieren	19	35	31	12	4	
Ausdauernde Arten profitieren	31	35	35			
Schlechtere Wirksamkeit Bodenherbizide	4	42	27	15	12	
Schlechtere Wirksamkeit Blattherbizide	12	19	15	35	15	4
Mehr Herbizidbehandlungen erforderlich	15	58	15	12		
Höhere Aufwandmengen erforderlich	19	27	23	27	4	
Verschiebung Bekämpfungstermine	19	54	19	8		
Zunahme mechanischer Bekämpfung	4	46	15	31	4	

Berichte zum Pflanzenschutz

Aus den Berichten zum Pflanzenschutz konnten unter Berücksichtigung der bisweilen sehr geringen und zwischen den betrachteten 4-Jahreszeiträumen stark unbalancierten Anzahl der Versuche folgende qualitativen Ergebnisse extrahiert werden:

Artenspektrum: Während bei den Kulturen Mais und Raps über den gesamten betrachteten Zeitraum seit 1980 hinweg die Verteilung der Anzahl der Versuche zu den Fokusarten für die Bekämpfung relativ gleich blieb, ist in jüngster Zeit (hier vertreten durch die Jahre 2009 bis 2012) bei Winterweizen ein verstärkter Fokus auf Ackerfuchsschwanz und bei der Zuckerrübe auf Weißen Gänsefuß festzustellen.

Anwendungstermine: Bei Mais, Raps und Zuckerrübe kann keine Verschiebung der Anwendungstermine im Verhältnis zur Aussaat erkannt werden. Bei Winterweizen ist für die Zeiträume 1980 bis 1982 und 1989 bis 1992 eine erste Behandlung im Frühjahr üblich, wohingegen im Zeitraum 2009 bis 2012 in der Mehrheit der Versuche die erste Nachauflauf-Maßnahme als Herbstbehandlung erfolgte.

Aussaattermine: Durch die sehr hohe Streubreite der Aussaattermine lässt sich für Winterweizen, Raps und Zuckerrübe aus den Berichten kein klarer Trend zu einer Verschiebung erkennen. Lediglich für Mais zeichnet sich eine frühere Aussaat ab.

Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, rezente Veränderungen der Unkrautflora und des Unkrautmanagements anhand von zwei Datenquellen qualitativ nachzuzeichnen: mithilfe einer Expertenbefragung per Fragebogen und einer Betrachtung behördlicher Versuchsberichte zum Pflanzenschutz. Aus diesen Daten sollten Informationen gewonnen werden, welche die Entwicklung von in die Zukunft gerichteten Anpassungen der Praxismaßnahmen zur Unkrautbekämpfung unterstützen.

Für die Daten aus den Versuchsberichten ist festzuhalten, dass sich wegen der bisweilen sehr geringen und zwischen den betrachteten 4-Jahreszeiträumen stark unbalancierten Anzahl der dokumentierten Versuche die Auswertungsmöglichkeiten einschränkten. Dennoch zeichneten sich einige deutliche Muster in den Datensätzen qualitativ ab, welche mit Ergebnissen der Befragung übereinstimmen.

Bei der Befragung wurde mit 26 Personen eine Anzahl von Teilnehmern erreicht, die für eine auf Fragebögen basierte Studie recht gering ist. Allerdings wurde durch gezielte Auswahl des Kreises der befragten Personen die Einschätzung von einschlägigen Experten aus dem gesamten Gebiet Niedersachsens abgerufen. Die Ergebnisse der Befragung sind daher per se als eine robuste Informationsquelle zu bewerten. Für die Auswertung der freien Nennung zur rezenten und erwarteten Veränderung der Relevanz einzelner Unkrauttaxa (Tab. 2) ist allerdings zu beachten, dass für viele Arten insgesamt eine sehr geringe Anzahl an Nennungen vorliegt. Daher sollte die Diskussion der Ergebnisse auf die Arten mit mehr als 5 Nennungen fokussiert werden. Die Befragung wies eine deutliche Steigerung der Relevanz von Storchschnabel- und Hirse-Arten aus. Gänsefuß und Knöterich-Arten sind nicht nur häufiger als bisher und potentiell zukünftig zunehmende Arten genannt worden, sondern auch in der Liste der derzeit bekämpfungsrelevanten Arten von der überwiegenden Mehrheit der Befragten angekreuzt worden (Tab. 1). Die Nennung einer zunehmenden Relevanz von Gänsefuß und Ackerfuchsschwanz durch die Pflanzenschutz-Experten stimmt dabei überein mit der im jüngsten Betrachtungszeitraum (2012 bis 2009) aus den Pflanzenschutzversuchen ersichtlichen zunehmenden Fokussierung auf diese beiden Arten im Zuckerrüben- bzw. Winterweizenanbau.

Diese Daten geben deutliche Hinweise auf einen Wandel der Unkrautflora in Niedersachsen im Lauf der vergangenen 20 bis 30 Jahre. Dieser ist das Ergebnis eines Zusammenspiels unterschiedlicher Einflussfaktoren (HYVÖNEN *et al.*, 2011), welche sowohl direkte Folgen des global change sind (u.a. Klimawandel; Einwanderung und Etablierung neophytischer Arten) als auch mit einer veränderten Anbaupraxis einhergehen (z. B. Fruchtfolgen, Aussaattermine, Herbizidauswahl, Bodenbearbeitung). Der direkte Einfluss des Klimas auf die Ackerunkrautflora ist dabei nicht von den Effekten einer veränderten Bewirtschaftungspraxis zu trennen; letztere ist mitunter auch selbst durch den Klimawandel beeinflusst, beispielsweise im Hinblick auf die Aussaattermine. So kann für die zunehmende Relevanz von Ackerfuchsschwanz einerseits die Entwicklung herbizidresistenter Populationen eine Erklärung liefern, aber auch die Vorverlagerung der Winterweizenaussaat. Die Zunahme von Hirse-Arten kann als eine Konsequenz von durch den Klimawandel bedingten höheren Temperaturen in Interaktion mit einer Ausweitung des Maisanbaus – sowohl bezüglich der Fläche als auch des Anteils in der Fruchtfolge – erklärt werden.

Im Hinblick auf kommende Veränderungen und Herausforderungen des Unkrautmanagements haben die Aussagen der Experten vor allem folgende Aspekte betont: es wird für die Zukunft eine Verringerung der Wirksamkeit der Bodenherbizide erwartet und für Herbizidanwendungen prinzipiell eine Verschiebung der Behandlungstermine und eine Erhöhung der Aufwandmengen angenommen. Anpassungen der Behandlungstermine wurden in der landwirtschaftlichen Praxis bereits über die vergangenen Jahrzehnte praktiziert, beispielsweise die vermehrte

Herbstbehandlung im Winterweizen und die mit früheren Aussaatterminen einhergehenden veränderten Behandlungstermine im Maisanbau.

Die dokumentierten Veränderungen können eine Grundlage für die Entwicklung von Managementanpassungen an die sich wandelnden Gegebenheiten der Unkrautflora und des Klimas für die Zukunft liefern. Ein genaues Verständnis ihrer Ursachen ist dazu erforderlich. Dieses Wissen ist mit Erkenntnissen aus der Klimafolgenforschung zu ergänzen. So kann beispielsweise durch Forschungsansätze, wie in BREITSAMETER *et al.* (in diesem Band) oder BÜRGER *et al.* (in diesem Band), eine Abschätzung der durch den Klimawandel bedingten Veränderung der Verbreitung und des Schadpotentials von Ackerunkräutern erfolgen. Die in der erstgenannten Studie für eine Reihe von Arten erfolgten Projektionen der Habitataignung in Niedersachsen weisen darauf hin, dass nicht alle als thermophil klassifizierten Arten von den zukünftigen Klimabedingungen werden profitieren können. Dies steht in Widerspruch zu der bisher beobachteten allgemeinen Zunahme wärmeliebender Arten und der von Pflanzenschutzexperten geäußerten Einschätzung, dass wärmeliebende Arten zukünftig profitieren werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die Entwicklung eines Unkrautmanagements, das den sich wandelnden und potentiellen zukünftigen Bedingungen gerecht wird, folgende wesentliche Aspekte Berücksichtigung finden müssen:

- die im Gange befindliche Veränderung des Artenspektrums der Unkrautflora und der Relevanz einzelner Arten,
- die langfristige Veränderung des Klimas, welche insbesondere eine längere Vegetationsperiode, mildere Temperaturen im Winter und trockenere Sommer bedingt, und
- damit einhergehende Anbauveränderungen, wie veränderte Aussaattermine.

Insgesamt wird das zukünftige Unkrautmanagement mehr als bisher den jeweiligen Standortbedingungen angepasst erfolgen müssen. Standardempfehlungen werden stärker auf ihre Anwendbarkeit für die konkreten Standortbedingungen hin geprüft werden müssen, bei der Formulierung neuer Empfehlungen werden mit stärkerem Bezug auf lokale Gegebenheiten Managementoptionen aufzuzeigen sein. Insbesondere die aufmerksame Bonitur der tatsächlich vorherrschenden Verunkrautung und die genaue Beachtung von Boden- und Luftfeuchtegegebenheiten bei der Präparatewahl haben hierfür besondere Relevanz.

Künftige Änderungen des Herbizidwirkstoffportfolios, sich ändernde Zulassungsbedingungen oder andere gesetzliche Regulierungen dürften kaum auf die Klimabedingungen zurückzuführen sein, sind jedoch als wichtige Rahmenbedingungen anzusehen. Eine Klimarelevanz ist dann gegeben, wenn künftige Witterungsbedingungen Einfluss auf Behandlungstermine und die Wirksamkeit von Herbiziden haben können (Tab. 3).

Wie bei der Interpretation vergangener Entwicklungen wird es auch bei der Vorausschau in die Zukunft nicht möglich sein, den Einfluss eines sich ändernden Klimas von den Bewirtschaftungseffekten zu trennen. Neben den bereits angesprochenen Anbaumaßnahmen hat auch die Fruchtfolge eine starke selektierende Wirkung auf Unkrautpopulationen. In vielen Regionen ist eine Segregation von winterungs- und sommerungsdominierten Fruchtfolgen zu beobachten, wie STEINMANN und DOBERS (2013) für Niedersachsen gezeigt haben. Mit dem zunehmenden Maisanbau wurden in vielen Anbauregionen sommerannuelle Unkräuter gefördert. Dies kann den fördernden Effekt von steigenden Temperaturen für wärmeliebende Sommerannuelle wie Hirse-Arten noch verstärken. Aus diesem Grund wird für die Zukunft auch die Fruchtfolgegestaltung als indirekte Maßnahme des Unkrautmanagements an Bedeutung gewinnen.

Danksagung

Die vorliegende Studie wurde unterstützt durch das niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur innerhalb des KLIFF Forschungsverbunds (Klimafolgenforschung und

Anpassung in Niedersachsen). Wir danken den Teilnehmerinnen und Teilnehmern unserer Expertenbefragung für Ihre Unterstützung. Des Weiteren danken wir der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Northeim (Dr. C. Brandfaß) und dem Pflanzenschutzamt Hannover (Dr. D. Wolber) für die Bereitstellung von Berichten zum Pflanzenschutz im Rahmen dieser Studie.

Literatur

- BREITSAMETER L., J. BÜRGER, B. EDLER, K. PETERS, B. GEROWITT und H.-H. STEINMANN, 2014: Klimafolgenforschung zu Ackerunkräutern – Daten, Methoden und Anwendungen auf verschiedenen Skalen. In: Tagungsband 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Julius-Kühn-Archiv **443**.
- BÜRGER, J., B. EDLER, B. GEROWITT und H.-H. STEINMANN, 2014: Prognose künftiger Problemunkräuter im Maisanbau durch Artverbreitungsmodellierung. In: Tagungsband 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Julius-Kühn-Archiv **443**.
- HYVÖNEN, T., M. GLEMNITZ, L. RADICS und J. HOFFMANN, 2011: Impact of climate and land use type on the distribution of Finnish causal arable weeds in Europe. *Weed Research* **51**, 201-208.
- MCDONALD, A., S. RIHA, A. DITOMMASO und A. DEGAETANO, 2009: Climate change and the geography of weed damage: Analysis of U.S. maize systems suggests the potential for significant range transformations. *Agric. Ecosys. Env.* **130**, 131-140.
- MEISSE, M., P. MOURON, T. MUSA, F. BIGLER, X. PONS, V. VASILEIADIS, S. OTTO, D. ANTICHI, J. KISS, Z. PÁLINKÁS, Z. DORNER, R. VANDER WEISE, J. GROTEN, E. CZEMBOR, J. ADAMCZYK, J. B. THIBORD, B. MELANDER, G. CORDSEN NIELSEN, R. POULSEN, O. ZIMMERMANN, A. VERSCHWELE und E. OLDENBURG, 2010: Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *J. Appl. Entomol.* **134**, 357-375.
- STEINMANN, H.-H. und E. S. DOBERS, 2013: Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications for plant health and crop protection. *J. Plant Diseases and Protection* **120**, 85-94.

Regrowth of *Cirsium arvense* from intact roots and root fragments at different soil depths

*Aufwuchs von *Cirsium arvense* aus intakten Wurzeln und Rhizom-Fragmenten aus verschiedener Bodentiefe*

Mette Goul Thomsen^{1*}, Lars Olav Brandsæter¹ and Haldor Fykse²

¹ Norwegian Institute for Agricultural and Environmental Research, N-1432 Ås,

² Prof. emeritus: Norwegian University of Life Sciences, Department of Plant and Environmental Sciences, N-1432 Ås, Norway.

* Corresponding author, mette.thomsen@bioforsk.no



DOI 10.5073/jka.2014.443.028

Introduction

In the present work we measured the shoot rate from intact roots and from root fragments of *Cirsium arvense* at different digging depths and the number of leaves were used as estimate of minimum regenerative capacity. The experiments were performed on four sites with three or four repetitions of each treatment. On each site plot, the soil was removed down to a given depth within a 1 x 1 m square. All plant parts was excavated from the soil and the soil was either replaced without any root material, or roots of *C. arvense* was cut into 10 cm long fragments and replaced into the source hole. Shoot number, aboveground biomass and number of leaves were measured. Digging depth and time explained 50% - 60% of the variation in biomass ($P < 0.001$). Replacement of root fragments increased the shoot number in one out of four treatments but did not affect biomass produced compared to production from undisturbed root systems. Number of leaves showed that shoots from all digging depths passed the level of minimum regenerative capacity. We conclude that the intact root system from all depths was able to regenerate within one season and it has a high contribution to the produced biomass compared with root fragments in the upper soil layers.

Keywords: Biomass, compensation point, number of leaves, root system

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Sprossbildung aus intaktem Wurzelsystem und aus Wurzelfragmenten von *Cirsium arvense* bei verschiedenen Bodentiefen gemessen. Die Anzahl der Blätter diente zur Schätzung der minimalen Regenerationsfähigkeit. Die Experimente wurden an vier Standorten mit drei oder vier Wiederholungen der einzelnen Behandlungen durchgeführt. Auf jeder Versuchsparzelle wurde der Boden bis zu einer bestimmten Tiefe in einem 1 x 1 m-Quadrat entfernt. Alle Pflanzenteile wurden aus dem Boden entfernt, und der Boden wurde entweder ohne Wurzel oder mit 10 cm langen Wurzelteilen von *C. arvense* in den Boden zurückgegeben. Die Anzahl der Sprosse, die oberirdische Biomasse und die Anzahl der Blätter wurden gemessen. 50-60 % der Variationen der Biomasse erklärten sich aus Bodentiefe und Zeit ($P < 0,001$). Beim Einbringen der Wurzelfragmente stieg die Sprossdichte in einer von vier Behandlungen an, hatte aber keine Auswirkungen auf die Biomasse im Vergleich zur Produktion aus ungestörtem Wurzelsystem. Anhand der Anzahl der Blätter zeigte sich, dass Sprosse aus allen Bodentiefen die regenerative Mindestkapazität überstiegen. Wir schließen daraus, dass sich das intakte Wurzelsystem aus allen Bodentiefen innerhalb einer Saison regenerieren konnte und in hohem Maße zur produzierten Biomasse im Vergleich mit der aus Wurzelfragmenten in den oberen Bodenschichten beiträgt.

Stichwörter: Anzahl der Blätter, Biomasse, Kompensationspunkt, Wurzelsystem

Introduction

Perennial plants very often survive the winter period by storing of nutrients in the root system. During regeneration, the plant uses these nutrients for production of new roots and shoots and reaches a level of minimum regenerative capacity "the compensation point". For continued growth the plant must obtain a positive net assimilation. Roots (i.e. roots) of *Cirsium arvense* may reach a depth of 2 m, but most of the root biomass is generally located between 20 and 40 cm (NADEAU and VAN DEN BORN, 1989). After soil tillage, undisturbed roots of *C. arvense* will be present below the working depth of the tillage equipment, whereas root fragments of various sizes are distributed throughout the tilled soil profile. These fragments may play a significant role in the

production of new shoots, as they are brought higher up in the profile and therefore require less energy for shoot production. Management of perennial weeds often aims at reducing the food reserves in the storage organs, and profound understanding of regrowth pattern from root fragments as well as from the undisturbed root system is therefore important. The number of shoots and the biomass production has been found to be positively correlated to length of root fragments (DOCK-GUSTAVSSON, 1997; THOMSEN *et al.*, 2011) and negatively correlated to burial depth (THOMSEN *et al.*, 2011). DOCK-GUSTAVSSON (1997) also found that the number of leaves per shoot at the level of minimum regenerative capacity was negatively correlated to the soil depth. However, little is known about the regeneration of the weed from the intact root system. The present study focusses on the development of shoots from intact roots of *C. arvensis* at different digging depths compared to shoot development from root fragments present in the upper soil layers.

Material and Methods

This study includes two experiments, carried out at a total of four different sites.

Site descriptions

Experiment I was carried out at Møystad (60° 47' N, 11° 11' E, 200 masl) and Rolfsøy (59°14' N, 10°53' E, 5 masl) in 2005, both on imperfectly drained loam soils. Here we aimed at evaluating the capacity for regeneration of the established root system of *C. arvensis* from five digging depths (0, 10, 20, 30 and 40 cm) and if the compensation point would be reached for plants from all digging depths.

Experiment II (Ås A and Ås B) was performed at the Norwegian University of Life Sciences, Ås (59°40' N, 10°46' E, 90 masl) on a sandy loam soil in 2006 and 2011. The aim of these experiments was to compare the capacity for regeneration of the established root system and of root fragments from soil depths of 15 and 30 cm.

Trial description and assessments

All experiments were arranged in complete randomized blocks with three (Møystad and Ås) or four replications (Rolfsøy).

Experiment I. An experimental area with a high population of *C. arvensis* was chosen. These trials were established in spring 2005 and the regeneration of *C. arvensis* from intact root systems located below five different digging depths (0, 10, 20, 30 and 40 cm) was measured. In each plot, the soil was removed down to the given depths within a 1 x 1 m square and spread out on a plastic sheet. All roots and other plant parts were removed. Then the soil, without roots and plant parts, was replaced into the source hole and packed down to its original level. In the control plot (0 cm depth), the soil was left untreated. Throughout the season, the number of shoots and the number of leaves ≥ 5 cm were counted. In the autumn, the above-ground biomass of *C. arvensis* was harvested and dried at 70 °C for 72 hours, and the dry weight was recorded.

Experiment II, Ås A and Ås B. These two experiments were started on 19-25th July 2006 and 14-16th May 2011, respectively, and harvested on 15th October and 25th October, respectively. The soil was dug out to depths of 0, 15 and 30 cm and handled as in Experiment I, but with two different treatments of the soil from 15 and 30 cm depths: 1) all roots and other underground plant parts were removed from the soil, or 2) the roots of *C. arvensis* were cut into 10 cm length and replaced with the soil. At the end of the experiment, the above-ground biomass of *C. arvensis* was harvested and dried at 70 °C for 72 hours, and the dry weight determined.

To prevent *C. arvensis* in the surrounding area from growing into the experimental plots, this area was frequently mown to 2-4 cm stubble height throughout the summer.

Statistical analysis

Assessment of number of shoots over time were made in the same plots and therefore of repeated nature (time series) and analyzed by a mixed model approach ('Proc mixed', SAS 9.2, SAS Institute inc., 2008).

Differences in the above ground biomass were tested with ANOVA (MINITAB 16, MINITAB 2011). Tukey's pairwise comparison test (95% confidence intervals) was used to compare differences between individual treatments for number of shoots, biomass and number of leaves. To evaluate the trend in biomass as affected by digging depth, a linear regression analysis was used (for more information see THOMSEN *et al.*, 2013).

Results

Experiment I:

Number of shoots. At both sites, the number of shoots of *C. arvense* increased with time and decreased with digging depth. Multiple linear regression showed that digging depth and time explained 85% and 44% of the variation in the shoot number at Møystad and Rolfsøy, respectively ($P < 0.001$).

Number of leaves. At both sites the number of leaves (≥ 5 cm in length) per shoot varied with both digging depth and time ($P < 0.001$), and on both sites there was interaction between these two factors (the greater the depth, the smaller the leaf number) ($P < 0.001$) (Fig. 1).

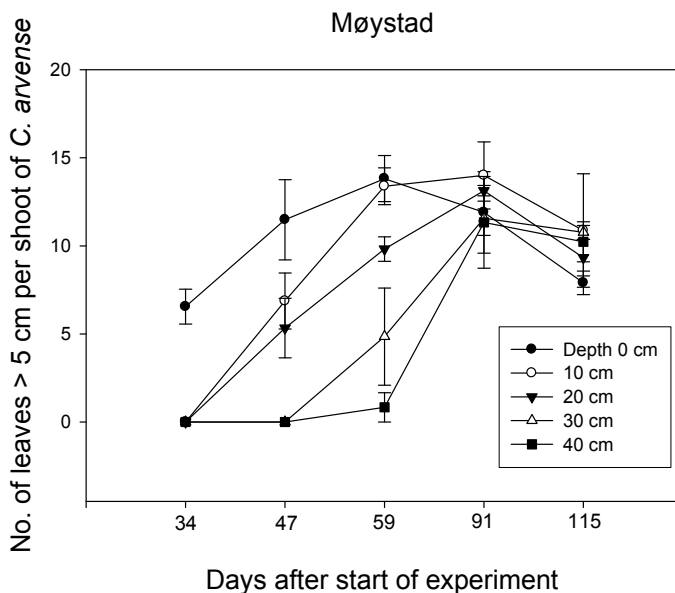


Fig. 1 Number of leaves (≥ 5 cm) per shoot in Experiment II in relation to the number of days after the start of the experiment and the digging depth (Vertical bars: \pm SE).

Abb.1 Anzahl der Blätter (≥ 5 cm) pro Spross in Versuch II in Bezug auf die Zeit nach Versuchsanlage und die Bodentiefe (Säulen: \pm SE).

Above-ground biomass. In general, the dry weight of the above ground biomass was reduced by increased digging depth: $r^2 = 0.49$, ($P < 0.001$) and $r^2 = 0.60$, ($P = 0.001$) for Rolfsøy and Møystad, respectively (Tab. 1).

Tab. 1 Weed biomass produced in experiment I.**Abb. 1** Unkrautbiomasse in Versuch I.

	Digging depth	Weed biomass ¹ (g/m ²)	
		Rolvøy	Møystad
Exp. I	0 cm	303,6 ab	477,6 a
	10 cm	334,0 a	358,6 a
	20 cm	236,7 ab	317,2 ab
	30 cm	120,4 ab	141,6 ab
	40 cm	44,7 b	94,3 b

¹Different letters behind the figure indicate significant difference between vertical treatments

Experiment II, Ås A and B

Number of shoots

Ås A and B: The number of shoots was reduced by increased digging depth ($P < 0.001$) and it increased with time after start of the experiment ($P < 0.001$) and the two factors interacted ($P < 0.001$), giving a lower number of shoots with increasing depth. The control treatment gave a higher number of shoots than the remaining treatments ($P < 0.05$). The two treatments, removal or replacement of root fragments, did not result in any differences in shoot number in Ås A, but in Ås B digging depth 30 cm and root fragments removed had a lower number of shoots than the remaining treatments ($P < 0.05$).

Above-ground biomass Ås A and B: No difference in biomass was found between removing and replacing the underground plant parts within each digging depth (n.s.) but higher biomass production resulted from the control treatment. At Ås B, comparing the two digging depths showed that 15 cm depth with replacement of the roots yielded more biomass than the two treatments at 30 cm digging depths ($P = 0.05$).

Discussion

Previous studies have shown that the shoot production of *C. arvensis* is reduced with increased ploughing depth (e.g. BRANDSÆTER *et al.*, 2011a) corresponding to the findings in the present experiment. The level of minimum regenerative capacity of root fragments has previously been found to be dependent on the length of the root fragments and on burial depth (DOCK-GUSTAVSSON, 1997; THOMSEN *et al.*, 2011; NKURUNZIZA and STREIBIG, 2011). DOCK-GUSTAVSSON (1997) found that 12 cm long root fragments buried at 5 cm soil depth did not regrow if disturbed when the shoots had eight to ten expanded leaves and if buried at 20 cm soil depth they did not regrow after disturbance when the shoots had four to six expanded leaves. In experiment one, we studied the intact root system and not root fragments but if we use the above figures in the present study we may expect that roots from all digging depths passed the level of minimum regenerative capacity. Roots from soil depth ≤ 20 cm would likely have passed this level approximately ten days before roots at > 20 cm soil depth.

Shoots developing from root fragments, e.g. after soil tillage, appear to have a limited contribution to the total number of shoots or biomass produced if, as in the present study, the fragments are located above the intact root system. The overall explanation could be that the intact root system possess a high regenerative capacity and may lower the production from the root fragments by underground competition. If the root fragments are spread to other areas we know from a number of studies that they represent a very high risk of infestation (THOMSEN *et al.*, 2011).

The results of the present experiments are important in order to understand the regenerative capacity of the deeper undisturbed root system of *C. arvensis* and the threat this weed poses for infestation of cropland. As a single measure, deep cutting of the root system will delay and reduce

the shoot production and biomass more than shallow treatments. However, the results show that the intact root system below the average tillage depth is highly vigorous and roots below 40 cm depth reach the compensation point within the growing season. To control *C. arvensis* by reducing stored food reserves, repeated and varied treatments are therefore needed. Studies by e.g. GRUBER and CLAUPEIN (2009) and BRANDSÆTER *et al.* (2011b) have shown that control of *C. arvensis* may be achieved by repeated and well-timed shallow soil treatments.

Acknowledgement

Thanks to *Weed Science*, Allen Press Publishing Services, for permission to use data first published in *Weed Science* **61**, 277–282, 2013.

References

- BRANDSÆTER, L.O., A. K. BAKKEN, K. MANGERUD, H. RILEY, R. ELTUN and H. FYKSE, 2011a: Effects of tractor weight, wheel placement and depth of ploughing on the infestation with perennial weeds in organic farmed cereals. *European Journal of Agronomy* **34**, 239-246.
- BRANDSÆTER, L.O., M.G. THOMSEN, K. WÆRNHUS and H. FYKSE, 2011b: Effects of repeated clover undersowing in spring cereals and stubble treatments in autumn on *Elymus repens*, *Sonchus arvensis* and *Cirsium arvense*. *Crop Protection*. DOI:10.1016/j.cropro.2011.09.022.
- DOCK-GUSTAVSSON, A.-M., 1997: Growth and regenerative capacity of plants of *Cirsium arvense*. *Weed Research* **37**, 229-236.
- GRUBER, S. and W. CLAUPEIN, 2009: Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil and Tillage Research* **105**, 104-111.
- NKURUNZIA, L., E. ROSENQVIST and J.C. STREIBIG, 2011: Photosynthesis and growth of newly intact shoots of *Cirsium arvense* and *Tussilago farfara* are resource independent. *Weed Research* **51**, 33-40.
- NKURUNZIA, L. and J.C. STREIBIG, 2011: Carbohydrate dynamics in roots and roots of *Cirsium arvense* and *Tussilago farfara*. *Weed Research* **51**, 461-468.
- SAS Institute inc. 2003. SAS 9.1.3, (2002 – 2003): SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- THOMSEN, M.G., L.O. BRANDSÆTER and H. FYKSE, 2011: Sensitivity of *Cirsium arvense* to simulated mechanical treatment and competition. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* **61**, 693 – 700.
- THOMSEN, M.G., L.O. BRANDSÆTER, and H. FYKSE, 2013: Regeneration of Canada thistle (*Cirsium arvense*) from Intact Roots and Root Fragments at Different Soil Depths. *Weed Science* **61**, 277–282.

Role of *Oxalis corniculata* L. as plant virus reservoir with special regard to Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV-RB) strain occurrence in rock-wool cultivation in Hungary

Horn-Sauerklee (Oxalis corniculata L.) als Reservoir des Resistenz-überwindenden Stammes der Tomatenbronzeblattnarbenkrankheit (TSWV-RB) in Steinwolle-basierendem Gemüsebau in Ungarn

Anna Maria Hodi^{1*}, Gabor Bese², Laszlo Hodi² and Laszlo Palkovics¹

¹Corvinus University of Budapest, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

²Government Office for Csongrad County, Plant Protection and Soil Conservation Directorate, 6800 Hódmezővásárhely Rárósi út 110.

*Corresponding author, anna.hodi@gmail.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.029

Abstract

The creeping wood sorrel (*Oxalis corniculata* L.) in Central Europe occurs mainly in anthropogenic areas, where it grows in parks and landfill sites or in protected cultivation sites like greenhouses and nurseries.

In Hungary *O. corniculata* has been spreading since the 19th century. In glass- and greenhouses it is the only weed species that was able to settle and flourish on hydroponic rock-wool and coconut fibre growing media.

Among virus pathogens of forced tomato (LYPES) and paprika crops (CPSAN) in Hungary the Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV) has become an important one, severely affecting the plants and on occasions causing 100% yield losses. The spread of the virus was largely assisted by its effective vector the Western Flower Thrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande). Initially the control of the disease was based on the control of the thrips, later, virus-resistant varieties were introduced. This however proved insufficient to fight the disease as it was discovered, quite recently, that in certain white pepper (CPSAN) varieties the virus was able to break up the resistance. According to data of the year 2012, those varieties that were considered resistant, showed up to 50% virus infection.

Considering the wide spread of *O. corniculata* and increasing occurrence of the resistance-breaking TSWV isolates, surveys in greenhouses were conducted to examine whether the weed could serve as reservoir for TSWV. Samples were collected of the virus infected crop plants and *O. corniculata* growing in the same coconut fibre cubes. The samples were examined using test-plants, serological and RT-PCR methods. In result it was found that the symptoms were indeed caused by resistance-breaking TSWV isolates. However, no virus was found in the suspected *O. corniculata* samples. Therefore it was concluded that in this particular case the *O. corniculata* cannot be considered reservoir for the virus, in the hydroponic culture.

Keywords: *Frankliniella occidentalis*, Hungary, invasive weed, pepper, TAS-ELISA, RT-PCR

Zusammenfassung

Der Horn-Sauerklee (*Oxalis corniculata* L.) kommt in Zentraleuropa vor allem in urbanen Habitaten vor, wie zum Beispiel in und um Gewächshäuser, in Parks oder auf Schuttflächen.

In Ungarn breitet sich *O. corniculata* seit dem 19. Jahrhundert aus. In Gewächshäusern ist der *O. corniculata* das einzige Unkraut, das sich auf Steinwolle- und Kokos-Substraten etabliert hat, und dort auch blüht. Bei Tomaten (LYPES) und Paprika (CPSAN) ist die Tomatenbronzeblattnarbenkrankheit (Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV) in Ungarn am problematischsten und kann zu 100 % Ertragsausfall führen. Die Virus-Übertragung erfolgt vor allem durch den Kalifornischen Blütenthrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande). Deshalb wurde TSWV ursprünglich vor allem durch die Kontrolle der Thripse verhindert. Später wurden TSWV-resistente Sorten von Paprika (CPSAN) eingeführt. Kürzlich wurde jedoch ein Resistenz-überwindender Stamm des TSWV gefunden. Daten von 2012 aus Ungarn zeigen, dass die normalerweise resistenten Sorten nun bis zu 50 % befallen werden.

Deshalb wurden Erhebungen in ungarischen Gewächshäusern durchgeführt, um zu klären, in wieweit *O. corniculata* als TSMV-Reservoir dienen könnte. Paprikapflanzen mit Schadsymptomen wurden eingesammelt, als auch Horn-Sauerklee-Pflanzen wenn sie in dem gleichen Kokos-Substratblock wuchsen. Die Proben wurden serologisch und mit RT-PCR auf TSWV getestet. Ergebnisse zeigten, dass die Schadmuster auf den Paprikapflanzen tatsächlich vom TSWV herrührten. Auf den entsprechenden Horn-Sauerklee Proben wurde jedoch erstaunlicherweise kein TSWV gefunden. Darum kann der *O. corniculata* in diesem speziellen Fall als TSWV-Reservoir ausgeschlossen werden.

Stichwörter: *Frankliniella occidentalis*, invasives Unkraut, Paprika, RT-PCR, Ungarn, TAS-ELISA

Introduction

The creeping wood sorrel (*Oxalis corniculata* L.) was described by Linnaeus in 1753 from Sicily as Mediterranean species (EITEN, 1955). Currently it is spread in many parts of the world as cosmopolitan weed (PIGNATTI, 1982; EITEN, 1963).

In Europe the weed can be found all over the continent, from Greece (KOVEOS *et al.*, 1999) up to the Scandinavian Peninsula (KARLSON, 1989; LIND, 1986). In Central Europe the weed occurs mainly in anthropogenic areas, where it grows in parks and landfill sites or in protected cultivation sites like greenhouses and nurseries (HANTZ, 1979; KRAWIECOWA, 1951). In Hungary the *O. corniculata* has been spreading since 19th century. Its presence is consistent with the rest of the area of distribution, and can be observed mainly in the cities where it affects parks, public green areas as well as in cultivated land of greenhouses, nurseries or gardens. It's definitely an unwanted plant in lawns and a noxious companion of potted balcony plants (ELMORE and CUDNEY, 2002).

In glass- and greenhouses it is the only weed species that was able to settle and flourish on hydroponic rock-wool and coconut fibre growing media (HODI *et al.*, 2010).

Among virus pathogens of forced tomato (EPPO Code: LYPES) and paprika crops (EPPO Code: CPSAN) in Hungary the Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV) has become an important one, severely affecting the plants and on occasions causing 100% yield loss (GÁBORJÁNYI *et al.*, 1995). The spread of the virus was largely assisted by its effective vector the Western Flower Thrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande). Initially the control of the disease was based on the control of the thrips, later, virus-resistant varieties were introduced. This however proved insufficient to fight the disease as it was discovered, quite recently, that in certain white pepper (EPPO Code: CPSAN) varieties the virus was able to break up the resistance (SALAMON *et al.*, 2010; BESE *et al.*, 2012).

The objective of this study was to examine whether the *O. corniculata* could serve as reservoir of the TSWV and as such contribute to outbreaks of the disease in Hungarian white pepper EPPO Code: CPSAN varieties grown on hydroponic substrates.

Material and Methods

The study was conducted in forced white so called TV¹-paprika crop, where similarly to the precedent years, a natural outbreak of tomato spotted wilt was observed. Symptoms typical for TSWV-RB disease like leaf malformation, and chlorotic and necrotic ring spots were observed on over 50% of the plants. The variety was known to possess resistance against the wild TSWV. The coconut substrate, in which the crop was grown, was significantly populated by *O. corniculata*.

One sample of paprika plants and 15 samples of *O. corniculata* were collected for examination. The samples were then assessed using symptomatological, TAS-ELISA, RT-PCR and bioassay methods.

The TAS-ELISA analysis was conducted following the diagnostic protocol of EPPO, using the antibodies supplied by ADGEN GmbH and SIGMA (EPPO, 2004).

The purification of the total RNA for the molecular assay was done with the RNeasy Plant Mini Kit (Qiagen) and following the protocol recommended by the producer. The amplification of the cDNA was achieved by using TSWV primers specific for 276 base fragments of the L RNA segment (L1 TSWV 5' -AAT TGC CTT GCA ACC AAT TC-3' and L2 TSWV 5' -ATC AGT CGA AAT GGT CGG CA-3') (MUMFORD *et al.*, 1994). One tube RT-PCR reaction was performed with SuperScript III according to the general protocol. Programs of the thermal cycler were carried out as follows: cDNA synthesis for 30 min at 48 °C, denaturation for 10 min at 94 °C and followed by 40 cycles denaturations for 1 min at 94 °C, 1 min of annealing at 55 °C, extension for 1 min at 72 °C and the final extension step at 72 °C for 10 min. The amplified cDNA was then assessed on agarose gel of 1,5%-os concentration.

¹ TV in Hungarian "tölténi való" means "good/suitable for filling/stuffing"

For the purpose on the bio-assay an average sample of 1 g was taken from the *O. corniculata* samples. The samples were homogenised using a phosphate buffer 0.01M diluted in 1:10 proportion (pH7.0, containing 1% (w/v) sodium sulphite). The product was used for inoculating the cotyledons of *Capsicum chinense* PI152225 plants, dusted with silicon carbide. The plants were then placed in climate controlled and vector-free chambers. The occurrence of local and systemic symptoms of TSWV –RB was assessed on 4th, 7th, 14th and 28th day after inoculation.

The inoculation of *O. corniculata* was obtained by applying four plants collected from virus free area of the growing facility. The virus freedom was confirmed with the methods described above. The plants were kept in a virus free experimental glasshouse. The leaves were inoculated artificially with TSWV-RB isolate maintained on *Capsicum annum* L. using the infected plant sap. The effectiveness of the inoculation was assessed by presence of symptoms as well as using the TAS-ELISA and RT-PCR methods.

Results

The symptoms of the virus infection were not found on any of the collected *O. corniculata* samples. The paprika plant sample in turn showed green mosaic, leaf malformation and necrotic rings. Similarly, the laboratory tests were negative in terms of virus presence in the *O. corniculata* samples, and confirmed virus infection of the paprika sample. The bio-assay only confirmed these findings. The plants of *C. chinense* did not express any virus symptoms, while the paprika sample showed only systemic symptoms (i.e., leaf malformation and chlorosis) on 14th day after inoculation (Tab. 1).

Tab. 1 Results of assays conducted on plant samples from *O. corniculata* and paprika EPP Code: CPSAN collected from a site of TSWV outbreak in Hungary.

Tab. 1 Untersuchungsergebnisse der Pflanzenproben von Horn-Sauerklee und Paprika, welche in TSWV-infizierten Standorten in Ungarn gesammelt wurden.

Collected sample	Symptoms	Result of TAS-ELISA	Result of RT-PCR	Result of biotest
1. <i>O.corniculata</i>	-/- ¹	negative	negative	-/-
2. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
3. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
4. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
5. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
6. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
7. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
8. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
9. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
10. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
11. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
12. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
13. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
14. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
15. <i>O.corniculata</i>	-/-	negative	negative	-/-
16. <i>Capsicum annum</i>	-/M ² , NSRi ⁴	Ldef ³ , TSWV positive	TSWV positive	-/Ldef, Ch ⁵

¹ Local symptoms/systemic symptoms

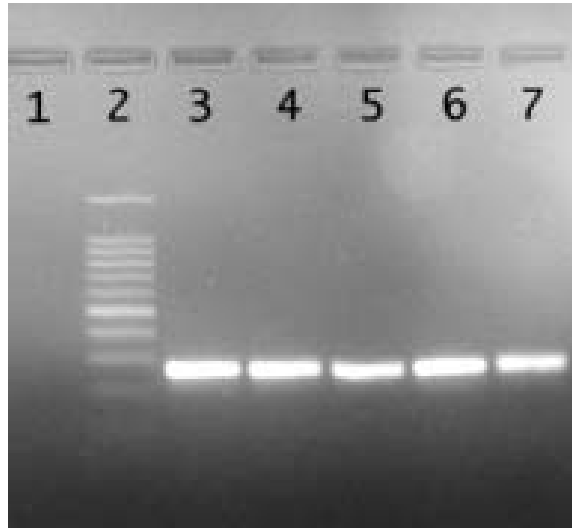
²M: mosaic

³Ldef: leaf deformation

⁴NSRi: necrotic systemic rings

⁵Ch: chlorosis

The *Oxalis* plants collected for the purpose of the artificial inoculation were clearly symptom-free before the inoculation. This has been confirmed by the TAS-ELISA, RT-PCR and bio-assays. Several necrotic lesions occurred on the inoculated leaves between 7th and 14th days following the inoculation. Their serological, molecular (Fig. 1) and bioassay analysis detected infection by TSWV-RB isolate. However, systemic symptoms were not observed.



Legend: 1 - negative sample, 2 - 100 bp DNA marker, 3 - positive control, 4 to 7 - *O. corniculata* samples

Fig. 1 Results of RT-PCR after artificial inoculation of *Oxalis corniculata* with TSWV.

Abb.1 Ergebnisse der RT-PCR Analyse von Horn-Sauerklee-Proben, die künstlich mit TSWV geimpft wurden.

Discussion

According to the scientific literature (PARRELLA *et al.*, 2003) *O. corniculata* is considered a natural host plant for Tomato Spotted Wilt Virus. Our study conducted on paprika infected by TSWV-RB isolate did not confirm this statement. Though some local necrotic lesions occurred on *O. corniculata* plants artificially inoculated with the virus, the infection remained local, without further escalation into a systemic one. Therefore in this particular case the weed which grew on the coconut substrate could not be confirmed the source of the TSWV outbreak in the paprika crop. Nevertheless, it is important for the hygiene of the crop that *O. corniculata* should be controlled as a potential reservoir of virus diseases.

References

- BESE G., L. KRIZBAI, J. HORVÁTH and A. TAKÁCS, 2012: Resistance breaking strain of Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV) on resistant pepper cultivars in Hungary. International Symposium: Current Trends in Plant Protection UDK **635.64** 239-241.
- EITEN, G., 1955: The Tipification of the Names "*Oxalis corniculata* L." and "*Oxalis stricta* L.". Taxon **4**(5), 99-105.
- EITEN, G., 1963: Taxonomy and regional variation of *Oxalis* section *Corniculatae*. I. Introduction, Keys and synopsis of the species. Am. Midl. Nat. **69**, 257-309.
- ELMORE, C.L. and D.W. CUDNEY, 2002: Creeping Woodsorel and Bermuda Buttercup. Pest Notes University of California Agriculture and Natural Resources. IPM Education and Publication. Davis.
- GÁBORJÁNYI R., G. CSILLÉRY, I. TÓBIÁS and G. JENSER, 1995: Tomato spotted wilt virus: A new threat for pepper production in Hungary. IXth Eucapia Meeting, Budapest, 159-160.
- HANTZ, J., 1979: Rodzaj *Oxalis* L. w Polsce. Fragm. Florist.- Geobot. **25**(1), 65-112.
- HODI A., B. HLAVACS and L. HODI, 2010: Allelopathic effect of creeping woodsorel (*Oxalis Corniculata* L.) under laboratory conditions 15th European Weed Research Society Symposium July 12.-15. Kaposvár, Hungary.
- KARLSON, T., 1989: Adventitious species of *Oxalis* in Sweden. Svensk Botanisk Tidskrift **83**(5), 299-314.

- KOVEOS, D. S. and G. D. BROUFA, 1999: Feeding history effect the response of the predatory mite *Typhlodromus kerkirae* (Acari: Phytoseiidae) to volatiles of plants infested with spider mites. *EXP APPL ACAROL* **23**(5), 429-436.
- KRAWIECOWA, A., 1951: Analiza geograficzna flory synantropijnej miasta Poznania. *Wydz. Mat.-Przyr. Prace Kom. Biol.. PTPN* **13**(1), 1-132.
- LIND, F., 1986: The flora of Ostergotland (Sweden): Additions and corrections 4. *Svensk Botanisk Tidskrift* **80**(1), 27-30.
- MUMFORD, R.A., I. BARKER and K.R. WOOD, 1994: The detection of tomato spotted wilt virus using the polymerase chain reaction. *J. Virol. Methods* **46**(3), 303-311.
- OEPP/EPPO, 2004: EPPO Standards Diagnostic protocols for regulated pests. *Bulletin OEPP/EPPO. Bulletin* **34**, 155-157.
- PARELLA, G., P. GOGNALONS, K. GEBRE-SELASSIE, C. VOVLAS and G. MARCHOUX, 2003: An update of the host range of tomato spotted wilt virus. *J. Plant Pathol.* **85** (4, special issue), 227-264.
- PIGNATTI, S. 1982: *Flora d'Italia Edagricole*, Bologna.
- SALAMON, P., K. NEMES and K. SALANKI, 2010: A paradicsom foltos hervadás vírus (Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV) rezisztenciatorzsenek izolálása paprikáról (*Capsicum annuum* L.) Magyarországon. 56. Növényvédelmi Tudományos Napok Budapest 23.

Changes of weed ecological groups under different organic mulches

Änderungen innerhalb ökologischer Gruppen von Unkräutern unter verschiedenem organischen Mulch

Darija Jodaugienė*, Aušra Marcinkevičienė, Rita Pupalienė, Aušra Sinkevičienė and Kristina Bajorienė

Aleksandras Stulginskis University, Institute of Agroecosystems and Soil Science, Studentu str. 11, Akademija LT-53361 Kaunas dist., Lithuania

*Corresponding author, Darija.Jodaugiene@asu.lt



DOI 10.5073/jka.2014.443.030

Summary

The aim of the investigation was to evaluate the influence of different organic mulches and different thickness of mulch layer on weed ecological groups. The field experiment was carried out in the Pomological Garden of the Aleksandras Stulginskis University (54°53'N, 23°50'E). The soil type was *Calc(ar)i-Endohypogleyic Luvisol (LVg-n-w-cc)*. Treatments of the experiment: factor A – mulching: 1) without mulch, 2) straw, 3) peat, 4) sawdust, 5) grass; factor B – thickness of the mulch layer: 1) 5 cm, 2) 10 cm.

All investigated organic mulches decreased weed density by 2.7–10.3 times compared with non-mulched soil. The mulch layer of 10 cm thickness decreased the weed density better by 1.3–2.9 times compared with the 5-cm mulch layer. The highest amount of weeds belonged to species indifferent to soil pH, rich in nitrogen, moderately moist and moist soil. Organic mulches, not infected with weed seeds, decreased density of the mentioned weed ecological groups compared with no-mulching. On that score mulching with 10 cm thickness mulch layer was more effective than that with 5 cm thickness mulch layer. Qualitative distribution of weeds into ecological groups influenced by mulch and thickness of mulch layer was even, but the quantitative distribution was uneven.

Key words: Ecological group, organic mulch, thickness of mulch layer, weed

Zusammenfassung

Ziel der Untersuchungen war die Bewertung des Einflusses von unterschiedlichem organischen Mulch bei unterschiedlicher Dicke der Auflagen auf die Verunkrautung. Die Untersuchungen wurden in den Jahren 2004 bis 2009 im Pomologischen Garten von der Aleksandras Stulginskis Universität (54°53'N, 23°50'E) durchgeführt. Die Bodenart war *Calc(ar)i-Endohypogleyic Luvisol (LVg-n-w-cc)*. Die Versuchsvarianten waren: Faktor A – organischer Mulch: 1) ohne Mulch, 2) Winterweizenstroh, 3) Torf, 4) Sägemehl, 5) Gras; Faktor B – Mulchschichtdicke: 1) 5 cm, 2) 10 cm.

Alle angewandten Mulchverfahren reduzierten die Unkrautdichte um das 2,7- bis 10,3-Fache im Vergleich mit nicht mit Mulch bedeckten Flächen. Mulchauflagen von 10 cm reduzierten die Unkrautdichte um den Faktor 1,3-2,9 im Vergleich mit Auflagen von 5 cm Mulch. Die höchste Unkrautdichte fand sich bei Boden-pH-, Stickstoff- und Feuchte-toleranten Unkrautarten. Organischer Mulch, nachweislich frei von Unkrautsamen, reduzierte in allen Fällen die Dichte der in Frage stehenden ökologischen Unkrautgruppen im Vergleich mit Flächen ohne Mulchauflage. In dieser Hinsicht waren 10 cm Mulchauflage in allen Fällen besser als nur 5 cm Mulchauflage. Die qualitative Verteilung innerhalb der ökologischen Gruppen der Unkräuter war unabhängig von Mulchart oder Dicke der Auflage immer ausgeglichen. Nicht ausgeglichen hingegen war die quantitative Verteilung.

Stichwörter: Mulchschichtdicke, ökologische Gruppen, organischer Mulch, Unkraut

Introduction

Weed control is one of the essential problems in organic farming system. Organic mulches can be used as alternative mean for weed control. Plant residues used for mulching affect soil properties: they increase the soil moisture (PAKDEL *et al.*, 2011); they change the soil-pH (BROSHAT, 2007); they increase the content of nitrogen, phosphorus and potassium in the soil (FANG *et al.*, 2008; PAKDEL *et al.*, 2013). Those changes can influence the weed diversity.

Segetal weed species are associated with a particular range of conditions, for example pH, site moisture and soil fertility, and on this basis values can be given denoting the position along environmental gradients at which each species, on average, reaches its peak abundance (SMART,

2000). The indicator species system of ELLENBERG *et al.* (1992), which is one of the most widely used systems, describes the response of a species to edaphic and climatic parameters in comparison with other species. RIESINGER (2006) also reported that the level of weed infestation was clearly influenced by climate, edaphic factors and management. According to OTTE *et al.* (2006), the tendency of changing occurrence of arable weeds showed higher correlations with habitat traits (expressed as Ellenberg indicator values) than with seed and germination traits. BRAZIENĖ *et al.* (2010) established the influence of pH and nitrogen content value on botanical composition of plants in different soil ecotypes.

In our experiment (from 2004 to 2009) all examined organic mulches reduced weed germination (JODAUGIENĖ *et al.*, 2006; JODAUGIENĖ *et al.*, 2012). Straw, peat and wood chips mulches have the strongest influence on the decrease of weed germination. Mulch of chopped grass is quick to decompose so its effect on weed density is weaker. Changes of weed ecological groups under different organic mulches in horticultural crops in organic farming systems under Lithuanian climate conditions were not investigated.

The aim of investigation was to evaluate the influence of different organic mulches and different thickness of mulch layer on weed ecological groups.

Material and methods

The field experiment was carried out in the Pomological Garden of Aleksandras Stulginskis University (54°53'N, 23°50'E) in organic certified field in 2004-2009. The soil type *Calc(ar)ic-Endohypogleyic Luvisol*. Soil texture: medium clay loams on heavy clay loams and clays. Soil pH_{KCl}: 6.4-6.7, the content of total nitrogen: 0.119-0.142%, organic C: 1.63-3.50%, available nutrients: phosphorus: 219.7-234.9 mg kg⁻¹, potassium: 134.3-180.5 mg kg⁻¹.

Treatments of the experiment: Factor A – mulch: 1) without mulch; 2) straw; 3) peat; 4) sawdust; 5) grass. Factor B – thickness of mulch layer: 1) 5 cm; 2) 10 cm. The influence of organic mulches on weed density was investigated in 2004-2009. The data of 2009 are presented in this paper. The data of 2009 are compared with unpublished data of 2007.

In 2007 in each plot were grown *Brassica oleracea* L. variety *Kamennaja golovka* in rows with spacing of 0.5 m, in 2009 *Phaseolus vulgaris* L. variety *Igoloneska* in rows with spacing of 0.5 m. These different organic materials were used for mulching: chopped wheat straw, medium decomposed fen peat, sawdust from different tree species, regularly cut grass from grass-plots. The mulch was spread manually in 5 cm and 10 cm thick layers shortly after sowing (planting). Remains of mulch were incorporated into the soil by ploughing after harvest in autumn. Crops were grown under organic farming requirements. No pesticides and fertilizers were used.

Weed shoots were countered and removed every 10 days from 10 June until 10 October on four 0.2 x 0.5 m squares in each plot. Summarized data of weed numbers during the period from 10 June until 10 October are given in this paper.

The classification into ecological groups was done according to ELLENBERG *et al.* (1992).

For different organic mulches and thickness of mulch layer the number of species and amount of weeds per m² belonging to the different weed categories were counted and submitted to the independence test. Keeping organic mulches and thickness of mulch layer in turn constant, contingency tables were obtained to which the independence test was applied to detect any relationship between the size of each group and the organic mulches or between groups and thickness of mulch layer. The evaluation was done using the χ^2 test.

Statistics estimates:

$$\chi^2 = \sum \sum (O_{ij} - ((n_{i.} * n_{.j}) * n^{-1})) * ((n_{i.} * n_{.j}) * n^{-1})^{-1}$$

where χ^2 - Chi - Square; O_{ij} - i population part, in which meaning of variable x passes to category j;
 $i=1$ $j=1$

$$\sum_{j=1}^c O_{ij} - \text{number of initiate members, which indication } x \text{ meaning is } x_i; \sum_{i=1}^r O_{ij} - \text{number of}$$

$$\text{initiate members, which meaning of indication } y \text{ is } y_j; n = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c O_{ij} - \text{size of initiate}$$

(ČEKANA VIČIUS and MURAU SKAS, 2001).

Results and Discussion

Floristic analysis

Weeds belonging to 41 species were obtained in the *Brassica oleracea* crop in 2007: 25 annuals and 16 perennials (unpublished data). 37 weed species were obtained in 2009: 22 annuals and 15 perennials. During the experiment period not only the total weed amount, but amounts of annual and perennial weeds decreased. During the experiment in organically grown vegetable crops dominated these annual weed species: *Echinochloa crus-galli*, *Galinsoga parviflora*, *Poa annua*, and perennial species: *Cirsium arvense*, *Elytrigia repens*, *Mentha arvensis*, *Rorippa palustris*, *Sonchus arvensis* and *Taraxacum officinale*. Straw and sawdust mulches decreased the weed density in 2009 compared with 2007, peat and grass mulches increased it. All investigated organic mulches decreased weed density compared without mulching (in 2007 from 2.7 to 5.4, in 2009 from 2.8 to 10.3 times). Thicker (10 cm) mulch layers decreased weed density better compared with 5-cm mulch layers: in 2007 from 1.3 to 2.0, in 2009 from 1.9 to 2.9 times.

Ecological groups according to soil pH

According to soil pH, weeds distributed into 7 ecological groups in 2007, into 6 in 2009 (Tab. 1). During all experiment years indifferent weed species dominated quantitatively and qualitatively. Dominant weed species belong to the indifferent weed ecological group were: *Echinochloa crus-galli*, *Poa annua*, *Cirsium arvense*, *Elytrigia repens*, *Mentha arvensis*, *Rorippa palustris* and *Taraxacum officinale*. In plots covered with organic mulches compared with plots without mulches the number of indifferent weed species decreased. In 2009, compared to 2007, straw and sawdust mulches decreased the density of indifferent weed species, peat and grass mulches increased the density.

Tab. 1 Qualitative (number of species) and quantitative (number of weeds per m²) distribution of weeds of ecological groups according to soil pH, 2009.

Tab. 1 Qualitative (Zahl von Unkrautarten) und quantitative (Zahl von Unkräutern per m²) Verteilung von ökologischen Gruppen anhand des pH-Wertes, 2009.

Analysis	OM	ML	Ecological groups according to soil pH						Within mulch layer		Within organic mulches	
			Rx	R4	R5	R6	R7	R8	$\chi^2/ \chi^2_{0.05}$	$\chi^2/ \chi^2_{0.05}$	$\chi^2/ \chi^2_{0.05}$	$\chi^2/ \chi^2_{0.05}$
Qualitative	WM	5	22	0	2	3	5	1	-	5.96/9.49		
		10	21	1	2	2	5	2	(5 cm mulch layer)			
	ST	5	12	0	1	1	4	0	1.46/7.82	12.6/11.07		
		10	12	0	2	0	3	0	(10 cm mulch layer)			
	PT	5	17	0	2	2	4	0	2.08/7.82	0.93/5.99		
		10	14	0	1	0	3	0	1.16/7.82			
	SD	5	15	0	1	0	2	0	192.3/9.49			
		10	14	0	0	0	2	0	(5 cm mulch layer)			
	GR	5	16	0	2	2	5	0	21.1/7.82	173.1/11.07		
		10	9	0	1	0	2	0	(10 cm mulch layer)			
	Quantitative	WM	5	1120	0	237	9.00	99.0	1.00	-	192.3/9.49	
			10	1210	1.00	241	13.0	163	1.00	(5 cm mulch layer)		
ST		5	159	0	8.00	1.00	29.0	0	21.1/7.82	173.1/11.07		
		10	61,0	0	3.00	0	39.0	0	(10 cm mulch layer)			
PT		5	642	0	29.0	2.00	43.0	0	18.4/7.82	8.84/7.82		
		10	271	0	1.00	0	34.0	0	8.84/7.82			
SD		5	300	0	5.00	0	66.0	0	192.3/9.49			
		10	126	0	0	0	31.0	0	(5 cm mulch layer)			
GR		5	611	0	103	3.00	103	0	21.1/7.82	173.1/11.07		
		10	230	0	19.0	0	34.0	0	(10 cm mulch layer)			

Note: OM – organic mulches; ML – cm thickness of mulch layer; WM – without mulch; ST – straw; PT – peat; SD – sawdust; GR – grass; Ecological groups according to soil pH: R4 – weed species in-between R3 and R5; R5 – weed species of moderately acid soil; R6 – weed species in-between R5 and R7; R7 – weed species of weakly acid to weakly basic soil; R8 – weed species in-between R7 and R9; Rx – indifferent weed species (growing at wide pH range).

Ecological groups according to nitrogen

The analysis of weed ecological groups according to nitrogen showed that during the experiment period weed species of very N-rich soil (8th group (ELLENBERG *et al.*, 1992)) dominated in vegetable crops (Tab. 2). *Echinochloa crus-galli*, *Galinsoga parviflora*, *Poa annua*, *Rorippa palustris* and *Taraxacum officinale* belong to this group. The lowest density of weeds belonging to weed species of very N-rich soil was established in plots mulched with straw and sawdust mulches during the experiment period. Mulches decreased density of very N-rich soil weeds compared with no mulching (in 2007 from 5.2 to 9.6, in 2009 from 2.3 to 24.9 times). In plots mulched with a 10-cm mulch layer compared with the 5-cm layer, the emergence of weeds of the very N-rich soil weed ecological group decreased: in 2007 1.4–2.4, in 2009 2.6–16.5 times.

Higher density of indifferent weed species and weeds belonging to weed species of richly fertile places (7th group) was established. *Mentha arvensis* and *Sonchus arvensis* belong to indifferent

weed species, and *Cirsium arvense* and *Elytrigia repens* belong to weed species frequent on N-rich soil (7th group). Straw and sawdust mulches decreased the density of indifferent weeds in subsequent years, and peat and grass mulches increased their density. All examined organic mulches decreased the emergence of indifferent weeds. The thicker grass mulch layer (10 cm) decreased the emergence of indifferent weeds compared with thinner (5 cm) mulch layer by 1.8–2.8 times. Organic mulches (except 5-cm layer of straw and peat mulches in 2007) decreased the density of weed species frequent on N-rich soil compared with not mulched soil. Emergence of weeds belonging to this group in plots covered with a 10-cm mulch layer decreased compared with plots covered with the 5-cm mulch layer: in 2007 for 1.4–2.6, in 2009 for 1.6–6.5 times.

Tab. 2 Qualitative (number of species) and quantitative (number of weeds per m²) distribution of weeds of ecological groups according to nitrogen, 2009.

Tab. 2 Qualitative (Zahl von Unkrautarten) und quantitative (Zahl von Unkräutern per m²) Verteilung von ökologischen Gruppen anhand des Stickstoffs, 2009.

Analysis	OM	ML	Ecological groups according to nitrogen							Within mulch layer	Within organic mulches	
			Nx	N3	N5	N6	N7	N8	N9	$\chi^2 / \chi^2_{0.05}$	$\chi^2 / \chi^2_{0.05}$	
Qualitative	WM	5	6	1	3	7	4	11	1	-	6.75/	
		10	5	1	3	9	5	9	1		12.59	
	ST	5	4	1	1	1	4	6	1	2.89/	(5 cm mulch layer)	
		10	3	1	1	0	3	9	0	12.59		
	PT	5	4	1	1	4	4	10	1	1.36/		
		10	4	1	1	1	3	7	1	12.59	16.7/	
	SD	5	2	1	1	3	4	6	1	1.38/	12.59	
		10	3	1	1	2	4	5	0	12.59		
	GR	5	3	1	1	3	4	12	1	3.51/	(10 cm mulch layer)	
		10	2	1	1	0	2	6	0	12.59		
	Quantitative	WM	5	167	46.0	47.0	35.0	172	972	27.0	-	390.0/
			10	309	67.0	14.0	43.0	229	946	21.0		12.59
ST		5	44.0	4.0	9.0	1.00	71.0	65.0	3.0	26.5/	(5 cm mulch layer)	
		10	39.0	6.0	1.0	0	45.0	12.0	0.0			
PT		5	139	35.0	21.0	8.00	97.0	400	16.0	23.5/		
		10	69.0	37.0	5.0	1.00	45.0	142	7.0		482.9/	
SD		5	81.0	38.0	27.0	3.00	101	115	6.0	83.9/	12.59	
		10	79.0	35.0	4.00	1.00	31.0	7.00	0			
GR		5	98.0	11.0	19.0	6.00	72.0	606	8.00	18.6/	(10 cm mulch layer)	
		10	35.0	1.00	1.00	0	11.0	235	0			

Note: OM – organic mulches; ML – cm thickness of mulch layer; WM – without mulch; ST – straw; PT – peat; SD – sawdust; GR – grass; Ecological groups according to nitrogen: N3 – weed species of more or less infertile sites; N5 – weed species of intermediate fertility; N6 – weed species in-between N5 and N7; N7 – weed species of richly fertile places; N8 – weed species in-between N7 and N9; N9 – weed species of extremely rich situations; Nx – indifferent weed species (growing at wide nitrogen range).

All organic mulches during all experiment periods compared with not mulched soil decreased the density of weed species frequent on N-poor soil (i. e. more or less infertile sites) (3rd group), weed species in-between N5 and N7 ecological groups (6th group) and weed species of N-surplus soil (9th group). The emergence of weed species of moderately N-rich soil (5th group) compared with not

mulched soil was promoted by the 5-cm layer of straw and sawdust mulch in 2007. Spreading of *Agrostis stolonifera*, belonging to the 5th group, could also result from this tendency.

According to nitrogen, weeds distributed depending on organic mulches and thickness of mulch layer qualitatively evenly, and quantitatively unevenly due to uneven spreading of indifferent weed species, weed species of moderately N-rich soil, weed species of moderately N-rich soil and frequent on N-rich soil and weed species frequent on N-rich soil.

Ecological groups according to soil moisture

According to soil moisture weeds distribute to 6 ecological groups during all experiment period (Tab. 3). Weed species of moderately moist soil (5th group) qualitatively and quantitatively dominated. Weed species dominated in vegetable crops in field experiment: *Echinochloa crus-galli*, *Galinsoga parviflora*, *Sonchus arvensis* and *Taraxacum officinale* belong to 5th group. Density of weed species of moderately moist soil in mulched plots decreased. In 2009 density of weed species of moderately moist soil in plots mulched with straw and sawdust mulches decreased compared with that in 2007, and peat and grass mulches – increased. All examined organic mulches decreased density of weed species of moderately moist soil: in 2007 – for 5.8–9.8, in 2009 – for 3.4–16.4 times. Thicker mulch layer better decreased density of those weeds compared with thinner mulch layer: in 2007 – for 1.1–3.4, except sawdust mulch, in 2008 – for 1.5–2.9 times, except straw mulch, in 2009 – for 2.0–4.7 times.

Indifferent weed species dominated compared with other weed ecological groups. *Cirsium arvense* and *Elytrigia repens* belong to indifferent weed group. In 2009, the emergence of indifferent weeds decreased. Mulching (except the 5-cm straw and peat mulch layer in 2007) decreased the emergence of indifferent weeds.

Mulching with thicker (10 cm) mulch layer resulted in lower density of indifferent weeds compared with mulching with the 5-cm mulch layer: in 2007 for 1.2– 2.5, in 2009 for 1.5–6.4 times. Organic mulches, except grass mulch in 2009, compared with not mulched soil, decreased the emergence of weed species of moderately moist and moist soil (in-between F5 and F7 ecological groups) (6th group). Straw, peat and sawdust mulches, spread by of 5 cm and 10 cm layer, decreased the emergence of weed species of moist soil (7th group) compared with unmulched soil. Spreading of *Agrostis stolonifera* and *Mentha arvensis*, weeds from 7th group, could represent this process. Emergence of weed species of moist soil decreased in plots covered with 10-cm thickness mulch layer compared with plots covered with 5-cm thickness mulch layer. In 2007 was plenty emergence of weed species of moist and wet soil (8th group), especially *Rorippa palustris*. In 2009 the density of weed species of moist and wet soil decreased. Organic mulches, except sawdust mulch in 2007, decreased emergence of weed species of moist and wet soil compared with not mulched soil in 2007 for 1.6–5.9, in 2009 for 4.1–8.3 times. The emergence of weed species of moist and wet soil in plots covered with 10-cm thickness mulch layer decreased compared with that in plots covered with 5-cm thickness mulch layer.

Under the influence of mulches and thickness of mulch layers the weed qualitative distribution according to soil moisture was even, but the quantitative distribution was uneven due to uneven distribution of indifferent weed species and weed species of moderately moist and moist soil.

Tab. 3 Qualitative (number of species) and quantitative (number of weeds per m²) distribution of weeds of ecological groups according to soil moisture, 2009.

Tab. 3 Qualitative (Zahl von Unkrautarten) und quantitative (Zahl von Unkräutern per m²) Verteilung von ökologischen Gruppen anhand der Bodenfeuchte, 2009.

Note: OM – organic mulches; ML – cm thickness of mulch layer; WM – without mulch; ST – straw; PT – peat; SD

Analysis	OM	ML	Ecological groups according to soil moisture						Within mulch layer	Within organic mulches	
			Fx	F4	F5	F6	F7	F8	$\chi^2 / \chi^2_{0.05}$	$\chi^2 / \chi^2_{0.05}$	
Qualitative	WM	5	8	2	12	5	3	3	-	3.40/	
		10	8	1	12	6	3	3		11.07	
	ST	5	5	1	6	2	2	2	1.58/11.07	(5 cm mulch layer)	
		10	4	0	5	3	2	3			
	PT	5	6	1	8	4	3	3	0.80/11.07		
		10	5	0	6	3	2	2			
	SD	5	3	0	7	3	3	2	0.70/9.49	6.13/	
		10	3	0	5	4	3	1		11.07	
	GR	5	6	1	8	5	2	3	2.08/11.07	(10 cm mulch layer)	
		10	4	0	4	1	2	1			
	Quantitative	WM	5	222	2,00	973	80,0	128	61,0	-	734,0/
			10	336	1,00	1008	72,0	182	30,0		11,07
ST		5	76,0	1,00	81,0	4,00	29,0	6,00	6,98/11,07	(5 cm mulch layer)	
		10	46,0	0	40,0	4,00	7,00	6,00			
PT		5	129	1,00	431	22,0	122	11,0	17,9/11,07		
		10	84,0	0	160	10,0	41,0	11,0			
SD		5	120	0	163	28,0	50,0	10,0	44,7/9,49	1046,0/	
		10	63,0	0	35,0	5,00	53,0	1,00		11,07	
GR		5	116	1,00	357	285	48,0	13,0	64,9/11,07	(10 cm mulch layer)	
		10	18,0	0	83,0	174	7,00	1,00			

– sawdust; GR – grass; Ecological groups according to soil moisture: F4 – weed species in-between F3 and F5; F5 – weed species of moderately moist soil; F6 – weed species in-between F5 and F7; F7 – weed species of moist soil; F8 – weed species in-between F7 and F9; Fx – indifferent weed species (growing at wide moisture range).

Discussion

The investigation of BECKER and HURLE (1998) showed that organic farming had not significant influence on the number of weed species. However, soil coverage by weeds increased from 20 to 30%. In our experiment the number of weed species decreased: weeds belonging to 37 species were obtained in crops in 2009, and weeds belonging to 41 species in 2007. Organic mulches decreased the number of weed species in vegetable crops. All investigated organic mulches decreased the weed density (for 2.7–10.3 times) compared with not mulched soil. Results of our experiment showed that organic mulches such as straw, regularly cut grass from grass-plots and others can be used in organic farming for weed control (JODAUGIENĖ *et al.*, 2012). Weed diversity and density can be influenced by agricultural crop: different crops were grown in different years in the field experiment. According to LOSOSOVA *et al.* (2004) the type of crop affects weed species composition: nutrient-demanding weeds were more frequent in vegetables crops. Results of our experiment confirm this affirmation. Annual weed species: *Echinochloa crus-galli*, *Galinsoga parviflora*, *Poa annua*, and perennial: *Cirsium arvense*, *Elytrigia repens*, *Mentha arvensis*, *Rorippa*

palustris, *Sonchus arvensis* and *Taraxacum officinale* dominated in the experiment plots. According to MOHAMAD and PALLUTT (2006), in the organic farming system an increase in the occurrence of *Cirsium arvense* was observed. LOSOSOVA *et al.* (2004) established that in vegetable crops perennial weeds with parts of vegetative propagation over-winter in soil (geophytes) dominated.

A tendency of decreased soil pH in plots mulched with straw, peat and sawdust mulches was established (unpublished data). The highest density of weed species indifferent to soil pH, N-rich and moderately moist and moist soil was established. Organic mulches decreased the density of the mentioned weed species. BOGUŽAS and MARCINKEVICIENE (2008) found that in organic farming the highest abundance of weeds belonged to weed species indifferent to soil pH.

The influence of the thickness of mulch layer on weed emergence was investigated. BILALIS *et al.* (2003) found a reduction of weed density as the level of soil cover increased. Mulching with 10-cm layer was more effective compared with mulching with 5-cm layer: the thicker mulch layer decreased weed density better compared with 5-cm mulch layer for 1.3–2.9 times.

Mulches affected the qualitative and quantitative distribution of weed species by changing soil properties and growth conditions. Under the influence of the investigated organic mulches and thickness of mulch layer even qualitative and uneven quantitative distribution of weed species was established.

References

- BECKER, B. and K. HURLE, 1998: Unkrautflora auf Feldern mit unterschiedlich langer ökologischer Bewirtschaftung. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. **XVI**, 155–161.
- BILALIS, D., N. SIDIRAS, G. ECONOMOU and C. VAKALI, 2003: Effect of Different Levels of Wheat Straw Soil Surface Coverage on Weed Flora in Vicia faba Crops. J. of Agron. Crop Sci. **189**, 233–241.
- BOGUŽAS, V. and A. MARCINKEVICIENE, 2008: Effect of long-term organic farming on weed seed-bank. J. Plant Dis. Prot., Special Issue **XXI**, 379–384.
- BRAZIENE, Z., R. REPSIENE, R. SKUODIENE, R. GRUZDEVIENE., R. ČESNULEVICIENE and V. ŽEKAITĖ, 2010: The diversity of segetal flora in spring barley crops and assessment according to Ellenberg indicator values in different sites of Lithuania. Vagos **88** (41), 7–13.
- BROSHAT, T. K., 2007: Effects of mulch type and fertilizer placement on weed growth and soil pH and nutrient content. HortTechnology **17** (2), 174–177.
- ČEKANAVIČIUS, V. and G. MURAUŠKAS, 2001: Statistics and its practice. Vilnius, TEV, 239.
- ELLENBERG, H., H. E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER and D. PAULISSEN, 1992: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. Aufl., Scripta Geobot. **18**, 67–166.
- FANG, S., B. XIE and J. LIU, 2008: Soil nutrient availability, poplar growth and biomass production on degraded agricultural soil under fresh grass mulch. For. Ecol. Manage. **255**, 1802–1809.
- JODAUGIENE, D., R. PUPALIENE, M. URBONIENE, V. PRANCKIETIS and I. PRANCKIETIENE, 2006: The impact of different types of organic mulches on weed emergence. Agronomy Research 4, Special issue, 197–201.
- JODAUGIENE, D., R. PUPALIENE, A. MARCINKEVICIENE and A. SINKEVICIENE, 2012: Integrated evaluation of the effect of organic mulches and different mulch layer on agrocenosis. Acta Scientiarum Polonorum: Hortorum Cultus. Lublin **11**(2), 71–81.
- LOSOSOVA, Z., M. CHYTRY, S. CIMALOVA, Z. KROPAČ, Z. OTYPKOVA, P. PYSEK and L. TICHY, 2004: Weed vegetation of arable land in Central Europe: Gradients of diversity and species composition. J. Veg. Sci. **15**, 415–422.
- MOHAMMAD AGHA, J. and B. PALLUTT, 2006: Populationsdynamik der Unkräuter im integrierten und ökologischen Anbau am Beispiel des Getreides. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. **XX**, 385–392.
- OTTE, A., R. BISSELS and R. WALDHARDT, 2006: Samen-, Keimungs- und Habitateigenschaften: Welche Parameter erklären Veränderungstendenzen in der Häufigkeit von Ackerwildkräutern in Deutschland? Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. **XX**, 507–516.
- PAKDEL, P., A. TEHRANIFAR, H. NEMATI and A. LAKZIAN, 2011: Effect of four types of mulch including wood chips, municipal compost, sawdust and gravel in four different thicknesses on soil temperature, soil moisture and weed growth. International Symposium on Organic Matter Management and Compost Use in Horticulture, <http://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1019789.pdf>, 1–8.
- PAKDEL, P., A. TEHRANIFAR, H. NEMATI, A. LAKZIAN and M. KHARRAZI, 2013: Effect of different mulching materials on soil properties under semi-arid conditions in north-eastern Iran. Wudpecker Journal of Agricultural Research **2** (3), 80–85.
- RIESINGER, P., 2006: Weed occurrence in Finnish coastal regions: a survey of organically cropped spring cereals. Agr. Food Sci. **15**, 166–182.
- SMART, S. M., 2000: Ecological assessment of vegetation from a nature reserve using regional reference data and indicator scores. Biodiversity and Conservation **9**, 811–832.

Sektion 3: Herbizidresistenz - Management

Section 3: Herbicide resistance - Management

Impact of imazamox containing herbicides on the development of resistance in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.)

*Einfluss von Imazamox-haltigen-Herbiziden auf die Resistenzentwicklung bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in einer Raps-Getreidefruchtfolge*

Maria Rosenhauer^{1*}, Bernd Sievernich² and Jan Petersen¹

¹ Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Science and Engineering, Fachrichtung Agrarwirtschaft, Berlinstr. 109, 55144 Bingen, Germany

² BASF SE, E-APE/MT – LI555, 67117 Limburgerhof, Germany

*Korrespondierender Autor, m.rosenhauer@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.031

Abstract

Winter oilseed-rape was the most common crop in Western Europe where no ALS-inhibitor was used. Due to the introduction of Clearfield winter oilseed-rape varieties the use of ALS-inhibitors also in oilseed-rape is possible. If the broader use of ALS-inhibitors increases the selection pressure on herbicide resistant weeds and increases their occurrence in the crop rotation is the question of this investigation. Therefore, an outdoor container trial (á 350 l, 0.7 m²) was performed starting in autumn 2011. A typical crop rotation of winter wheat/oilseed-rape/winter wheat was simulated in the following three years. Three different black-grass biotypes with characterised resistance pattern and 5 different herbicide programs were analysed. The black-grass biotypes showed different target-site resistance against ACCase- and/or ALS-inhibitor, as well as metabolic resistance. Before and after each treatment the numbers of black-grass plants per container were counted. Also the numbers of heads were counted before harvest. Additionally genetic analysis due to PCRs and pyrosequencing of ten survivors per container and year were performed.

Till now results of the winter wheat and oilseed-rape cultivation were obtained. Herbicide efficacy was between 77 and 98% for the treatments during the winter wheat cultivation. The genetic analysis showed nearly similar portion of TSR in the black-grass populations when compared with the initial frequencies. Only one container showed no TSR.

The comparison of the herbicide programs sprayed during the oilseed-rape cultivation showed the best results for all black-grass biotypes for the application of: Metazachlor + dimethenamid (BBCH 09/10), imazamox + quinmerac + Dash (BBCH 14) and propyzamide (BBCH 21/22).

Keywords: ACCase-inhibitor, ALS-inhibitor, Clearfield oilseed-rape, target-site resistance (TSR), herbicide rotation

Zusammenfassung

Winterraps war bislang die bedeutendste Ackerbaukultur in Westeuropa in der kein ALS-Inhibitor eingesetzt werden konnte. Mit der Einführung von Clearfield Winterrapsorten ändert sich dies mit der Verwendungsmöglichkeit von Imazamox-haltigen Herbiziden. Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist, ob durch den erweiterten ALS-Herbizideinsatz in einer Fruchtfolge der Selektionsdruck steigt und in der Folge mit vermehrtem Auftreten herbizidresistenter Unkräuter zu rechnen ist. Um dieser Frage nachzugehen, wurde im Herbst 2011 ein Gefäßversuch (á 350 l, 0,7 m²) unter Freilandbedingungen angelegt. Simuliert wurde eine typische dreigliedrige Fruchtfolge (Winterweizen/Raps/Winterweizen). Es wurden drei verschiedene Ackerfuchsschwanz-Biotypen mit charakterisierten Resistenzen und 5 verschiedene Herbizidvarianten in den einzelnen Kulturen über die Fruchtfolge untersucht. Die Biotypen unterschieden sich bezüglich ihrer Zielortresistenz gegenüber ACCase und/oder ALS Inhibitoren und zusätzlicher metabolischer Aktivität. Vor und nach jeder Applikation wurde die Anzahl lebender Ackerfuchsschwanzpflanzen in den Gefäßen bestimmt. Blattproben von zehn überlebenden Pflanzen je Kübel dienten der genetischen Analyse der Zielortresistenz. Die Analyse von einzelnen Pflanzen ermöglicht Aussagen über die Frequenz und den Heterozygotiegrad der Zielortresistenz. Der Abgleich von Ausgangsfrequenz mit den TSR-Funden nach jeder Kultur ermöglicht die

Entwicklung des TSR-Anteils in den Populationen abhängig von den Herbizidvarianten darzustellen und lässt somit Rückschlüsse auf eine mögliche Selektion resistenter Biotypen zu. Neben den überlebenden Pflanzen wurde auch die Anzahl der Ackerfuchsschwanzähren kurz vor der Ernte bestimmt. Es liegen Daten der Winterweizen- und der Winterrapskultur vor. Diese zeigen für den Herbizideinsatz im Winterweizen Wirkungsgrade von 77 bis 98 %. Die Blattproben ergaben vergleichbare Anteile TSR in den Populationen mit den Ausgangswerten. Jedoch fanden sich auch bei ursprünglich nicht ALS-TSR Populationen bis zu 8 % Zielortresistenzen an der Mutationsstelle 197. Nur in einem Gefäß wurde keine TSR festgestellt. Die Erntemengen variierten zwischen den Biotypen und lagen zwischen durchschnittlich 7,3 und 9,3 t/ha, wobei eine starke Korrelation zwischen Erntemenge und Wirkungsgrad ($r=0,7372$) feststellbar war. Ein Vergleich der Herbizidvarianten im Winterraps zeigt die höchste Wirksamkeit bei allen ALOMY Biotypen für die Variante bei der die Wirkstoffe Metazachlor + Dimethenamid (BBCH 09/10), Imazamox + Quinmerac + Dash (BBCH 14) und Propyzamid (BBCH 21/22) in den jeweiligen ALOMY Stadien appliziert wurden.

Stichwörter: ACCase Hemmer, ALS Hemmer, Clearfield Raps, Zielortresistenz (TSR), Herbizidwechsel

Introduction

The imidazolinone herbicide imazamox belongs to the ALS inhibitor class (HRAC B). The herbicide is registered in Europe in different crops (Clearfield and some legume crops) up to 75 g ai/ha. Imazamox possesses the main activity via leaf uptake, while soil activity is of minor importance. The solo active ingredient will not be registered in oilseed-rape (OSR). The main formulation partner is metazachlor (+/- quinmerac). Both herbicides are synergistic in their efficacy on many important weeds in OSR. For example *Capsella bursa-pastoris*, *Lepidium draba*, *Bunias orientalis*, *Thlaspi arvense* and *Barbarea vulgaris* are well controlled. Clearfield herbicides will also control emerged volunteer cereals, thus the treated area for volunteer cereal control with Dim/Fop herbicide will decrease and subsequently also reduce the selection pressure with this herbicide class (Group A). As a consequence, this herbicide class would be then available for the in-crop use in cereals/sugar beet without changing the overall selection pressure in the crop rotation (PRESTON, 2003). The objective of this study is to clarify the impact on resistance development of Clearfield herbicides in a typical OSR crop rotation (winter wheat [WW] / OSR/ WW). Therefore, outdoor container trial with known black-grass populations was performed in Bingen. Genetic analysis of target-site frequency in black-grass is provided via BASF. The outdoor container experiment is designed for three years and started in October 2011.

Material and Methods

Outdoor container trial

The outdoor container trial comprises 30 containers (0.7 m²), three black-grass biotypes, two replications and two different herbicide treatments in the first year (WW) and five different herbicide treatments in the second year (OSR). The three biotypes ("102", "148" and "201") are supplied by BASF and differ according their phenotypic- and genetic resistance patterns (Tab. 1).

Tab. 1 Characterization of ALOMY biotypes used in the outdoor container trial.

Tab. 1 Charakterisierung der ALOMY Herkünfte aus dem Gefäßversuch.

		resistance mechanism								
		ACCcase-TSR					ALS-TSR		NTSR	
year	No.	origin	1781	2027	2041	2078	2096	197	574	
2010	102	GB	88%	0%	25%	5%	3%	11%	0%	x
2010	148	DE	0%	13%	0%	0%	13%	0%	0%	x
2010	201	FR	96%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	x

To establish a seed stock in the containers, 8.0 g black-grass seeds consist of 7.2 g susceptible (Herbiseeds) and 0.8 g resistant black-grass seeds (following a ratio of 9:1) were mixed in the soil in about 5 to 10 cm depth. The same amount of black-grass seeds in the same mixture were sown in rows alternating with winter wheat (250 seeds per m²). Figure 1 schematically shows the 30 containers with the different biotypes and herbicide treatments.

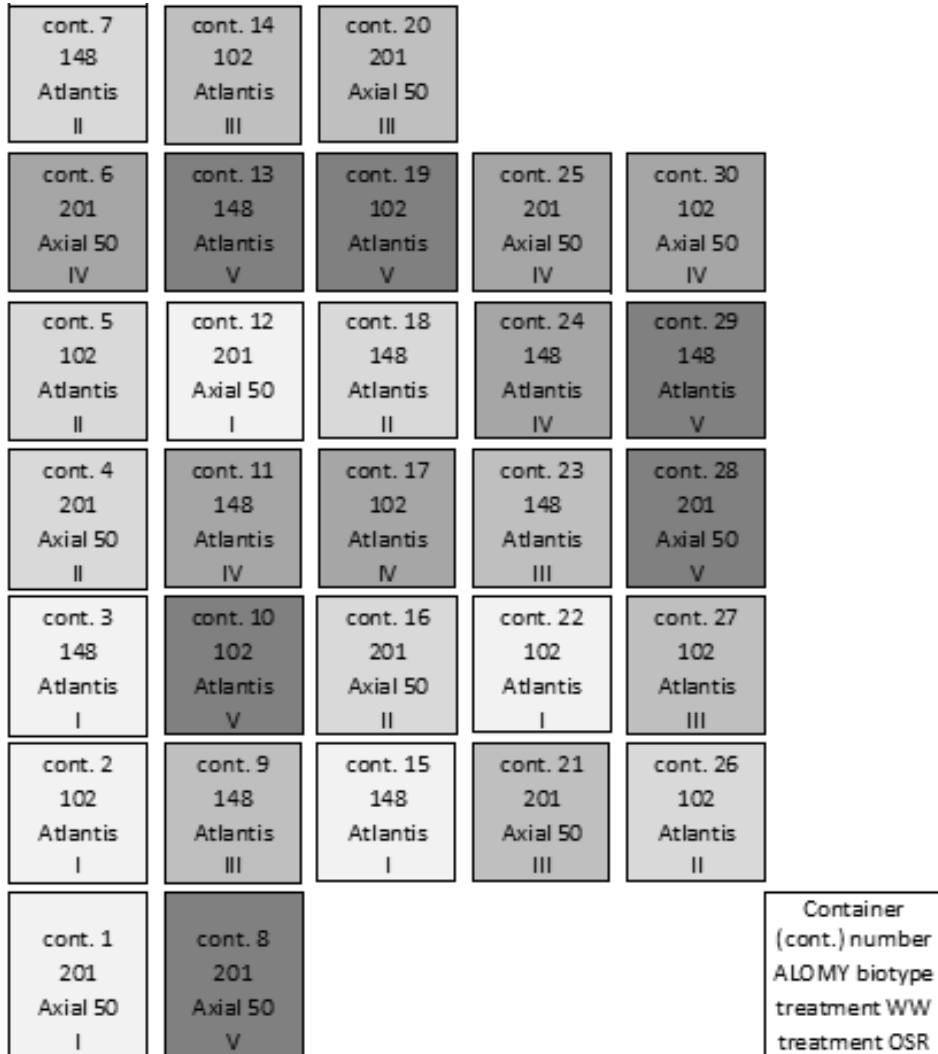


Fig. 1 Experimental set-up for the herbicide treatments in autumn and winter 2012-2013.

Abb. 1 Aufbau des Gefäßversuchs für die Herbizidbehandlungen im Herbst und Winter 2012-2013

The herbicides used as well as the dosages and the growth stage of ALOMY at the application date are given in Table 2. Parameters of application are given in Table 3.

Tab. 2 Herbicide treatments for the container trial.

Tab. 2 Herbizidbehandlungen des Gefäßversuchs.

	ACC-TSR (BT 201)	ALS-TSR (BT 102)	EMR (BT 148)
WW	Axial 50 (1.0 l/ha)	Atlantis WG (400 g/ha) + Dash	Atlantis WG (400 g/ha)+ Dash
OSR	I II III IV V	I II III IV V	I II III IV V
WW	Atlantis WG (500 g/ha)	Axial 50 (1.2 l/ha)	Axial 50 (1.2 l/ha)

Number OSR	Treatment product	dose	active ingredient	BBCH ALOMY
I	Butisan Gold	2.5 l/ha	metazachlor + quinmerac	09/10
	Focus Ultra	1.0 l/ha	cycloxydim	14
	Dash	1.0 l/ha		
II	Butisan Kombi	2.5 l/ha	metazachlor + dimethenamid	09/10
	BAS 831 00H	1.0 l/ha	imazamox + quinmerac	14
	Dash	1.0 l/ha		
III	Butisan Kombi	2.5 l/ha	metazachlor + dimethenamid	09/10
	BAS 831 00H	1.0 l/ha	imazamox + quinmerac	14
	Dash	1.0 l/ha		
IV	Kerb flo	1.875 l/ha	propyzamid	21/22
	BAS 798 01 H*	2.0 l/ha	metazachlor + imazamox + quinmerac	12
	Focus Ultra	1.0 l/ha	cycloxydim	14
V	Dash	1.0 l/ha		
	BAS 798 01H*	2.0 l/ha	metazachlor + imazamox + quinmerac	12
	Kerb flo	1.875 l/ha	propyzamid	21/22

Tab. 3 Parameters of the herbicide applications.

Tab. 3 Parameter der Herbizidapplikationen.

Nozzle	Air mix 110-025 Flat Fan
Water volume	200 l ha ⁻¹
Pressure	2.1 bar
Speed	4.5 km h ⁻¹

The numbers of emerged black-grass plants per container were counted on February 29th 2012. To reduce the risk of completely kill the population in the first year only 80% of the recommended

field dose of the two herbicides were used. Those were 80% of the recommended field dose of the ALS-inhibitor Atlantis WG (mesosulfuron + iodosulfuron), equate 400 g ha⁻¹ for the biotypes 102 and 148 and 80% of the recommended field dose of the ACCase-inhibitor Axial 50 (pinoxaden), and equate 1.0 l ha⁻¹ for the biotype 201. The containers were treated with a one-wheel plot sprayer on March 12th 2012 in BBCH 24 (Tab. 2) according to the different herbicide treatments.

Numbers of survived black-grass plants per container were counted four weeks after herbicide application on April 16th 2012. Before flowering, the containers were isolated by pollen proved sleeves to avoid cross-pollinating between the biotypes. Irrigation was done as required by a drip irrigation hose. The numbers of heads of every single container were counted ten weeks after the application on May 21th 2012. In the containers, black-grass seeds were allowed to mature and fall on the ground. The winter wheat was harvested after nearly all black-grass seeds were fallen on July 16th 2012.

Oilseed-rape 2013:

Tillage was done by hand after the harvest of the winter wheat. A glyphosate treatment was applied on August 13th 2012 against dicots and volunteer cereals, before sowing of the oilseed-rape. Due to seed dormancy, black-grass rarely germinated and it was therefore not necessary to count ALOMY plants before the stubble treatment of glyphosate. The sowing of Clearfield oilseed-rape was done on the August 27th 2012. Fifty germinable seeds/m² (germination rate = 90%) were sown in five rows. The Clearfield oilseed-rape variety "Pioneer X08W9821" was used. Irrigation started on September 3rd and was applied if necessary. Five different herbicide treatments (resp. sequences) were conducted with two repetitions per black-grass biotype (Tab. 2).

The pre-emergence herbicides Butisan Gold and Butisan Kombi were applied on September 4th 2012. No black-grass plants emerged before this treatment. On September 28th 2012 Focus Ultra and the herbicides "BAS 798 01H" and "BAS 831 00H" were applied to the corresponding containers. Kerb flo was sprayed on December 6th 2012. The numbers of black-grass plants per container were counted four times. They were counted three days before the treatment of the post-emergence herbicides on September 25th and three weeks later on October 18th. In spring 2013 the surviving black-grass plants were counted on March 18th and April 4th. The numbers of heads per container were counted on June 5th 2013. Oilseed-rape was harvested on July 27th.

Genetic analysis

For genetic analysis leaf samples of ten different survived black-grass plants per container were taken during the winter wheat cultivation (on 16th and 17th April 2012) and during the oilseed-rape cultivation (April 23rd 2013) and separately dried at room temperature. DNA-extraction and genetically analysis were provided by BASF. PCRs and Pyrosequencing were performed for the ACCase mutation site 1781 and the ALS mutation site 197.

Results

Outdoor container trial

The number of emerged black-grass plants in winter wheat range between 843 (biotype 148) and 232 plants (biotype 102) (Tab. 4). Biotype 102 showed in general lowest germinating rate. All in all, the mean values of black-grass plants per containers were quite consistent between the three biotypes. After the application of Axial 50 biotype 201 showed the highest surviving rate with 12%. The both biotypes treated with Atlantis WG, 102 and 148 showed less survivors, especially biotype 102 with a mean value of 19 black-grass plants per container. This is the same for the number of heads. However, there were survivors in every container, producing seeds for the following years.

Tab. 4 Number of germinated and survived ALOMY plants as well as number of heads/container in winter wheat 2011/12 according to the biotypes.

Tab. 4 Anzahl der aufgelaufenen und überlebenden ALOMY Pflanzen, sowie die Ährenanzahl pro Gefäß im Winterweizen (2011/12) für die jeweiligen Herkünfte.

	biotype	herbicide	mean value	min	max
number of emerged ALOMY	102	ALS	475	232	593
	148	ALS	541	394	843
	201	ACCcase	528	395	712
number of survivors	102	ALS	19 (4%)*	11	28
	148	ALS	33 (6%)*	17	54
	201	ACCcase	62 (12%)*	35	107
number of heads	102	ALS	82	16	263
	148	ALS	138	70	249
	201	ACCcase	663	354	994

* Percentage of survivors from the number of emerged black-grass plants

Results of the herbicide treatments at the last counting date (April 22nd 2012) in the OSR cultivation are given in Figure 2. The last herbicide treatment was done on December 6th 2012. A further reduction of black-grass plants for all treatments and biotypes was observed compared to the autumn counting. Herbicide efficacy varied in-between the treatments and among the biotypes. The post-emergence treatment in T1 (Focus Ultra) showed high efficacy for all biotypes. Numbers of black-grass plants per container varied between 24.5 (biotype 102) and 169.5 (biotype 201). Treatment 2 (BAS 831 00H) showed less black-grass plants per container for all biotypes except biotype 102 (31.5 plants) when compared to treatment 1. Treatment 3 showed the best black-grass control for all biotypes when compared to the other herbicide treatments. For all biotypes less than 10 plants per container were found. There were a high number of black-grass plants left after the pre-emergence treatment with Butisan Kombi when compared to treatment 1 and 2. After the treatment with BAS 831 00H + Dash the numbers of black-grass plants clearly decreased. In Treatment 4 no pre-emergence but two post-emergence herbicides were applied. BAS 798 01H and Focus Ultra were applied at the same time. The efficacy of the tank-mixture was worse to all other treatments. 120 and 280 plants per container survived (biotype 102 and 201 respectively). Treatment 5 was the second treatment without pre-emergence herbicides. When compared to the results of treatment 4, where Focus Ultra was additionally applied, the solo application of BAS 798 01H was nearly as effective as the combined application.

The numbers of heads per pot, counted on June 6th 2013 are given in Figure 3. Treatment 3 obtained a complete black-grass control where no black-grass biotype developed one single head. Also treatment 5 resulted in no black-grass heads for biotype 102 and 148. Biotype 201 developed only five heads. The highest number of heads was found for biotype 102 and 201 in treatment 4 where no sufficient black-grass control was obtained. Also treatment 1 and 2 did not control the different black-grass biotypes sufficiently. Depending on the resistance status of the biotypes, treatment 1 showed better results for the weak ACCcase-TSR biotype 148 when compared to the strong ACCcase-TSR biotype 201. For treatment 2 it was the opposite situation.

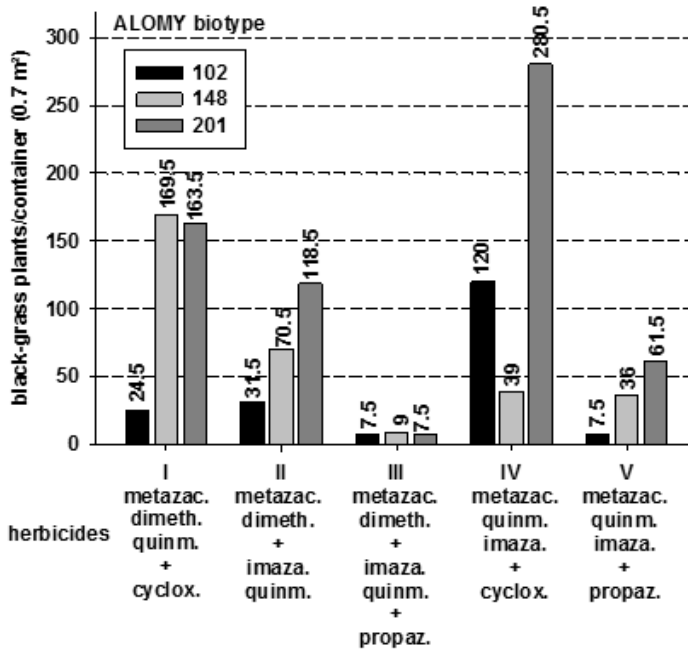


Fig. 2 ALOMY plants in CL-OSR depending on biotype and herbicide programme (22.04.2013).

Abb. 2 ALOMY Pflanzenanzahl im CL-Raps nach Herkunft und Herbizidapplikationsfolge (22.04.2013).

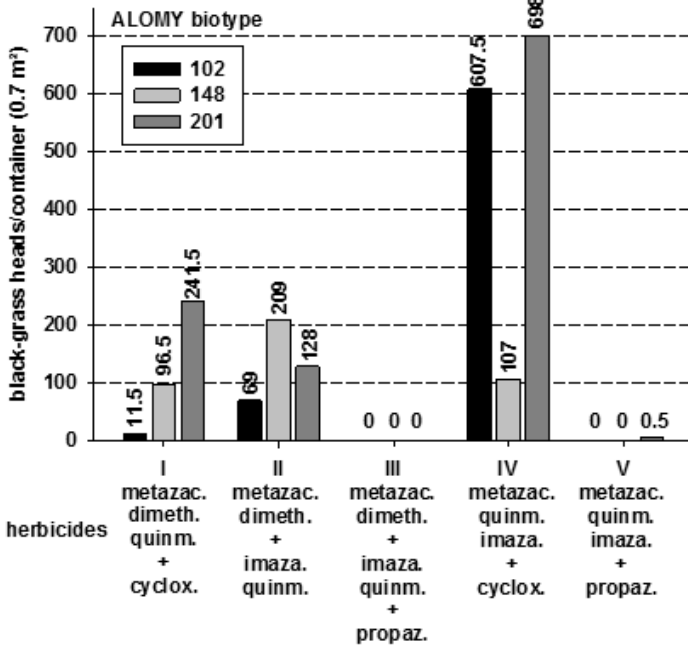


Fig. 3 ALOMY heads/container in CL-OSR depending on biotype and herbicide programme.

Abb. 3 ALOMY Ähren pro Container im CL-Raps nach Herkunft und Herbizidapplikationsfolge.

Genetic analysis

After the application in winter wheat 2012 a decrease of approximately 66% of TSR-ALOMY plants was found for biotype 102 (treated with Atlantis) at the ACCase mutation site 1781. Also for biotype 201 (treated with Axial) a reduction of TSR (1781)-ALOMY plants of 13% was detected. Biotype 148 (treated with Atlantis) did not show any TSR mutation at the position 1781 before our trials. According our analysis, we found in 7% of the tested plants in 2012 TSR (1781). The amount of ALS-TSR (197) was for all biotypes lower than 10%. Figure 4 shows the number of ALOMY plants with ACCase 1781 mutation found in spring 2013 in OSR, depending on biotype and herbicide.

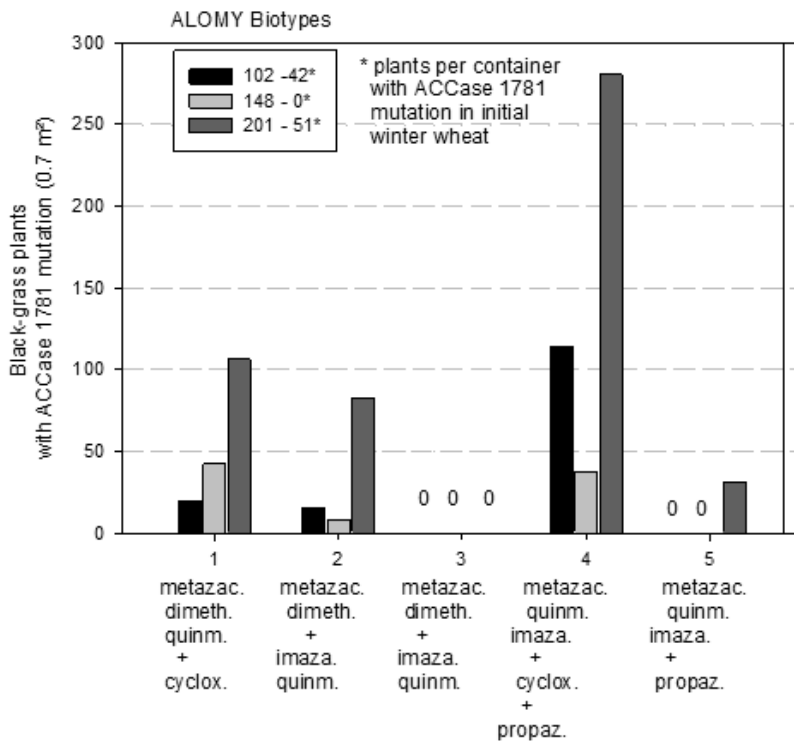


Fig. 4 ALOMY plants with ACCase TSR 1781 in CL-OSR depending on biotype and herbicide programme.

Abb. 4 ALOMY Pflanzen mit ACCase TSR im CL-Raps, abhängig von Herkunft und Herbizidapplikationsfolge.

Treatment 3 resulted in no surviving plants for all biotypes, thus no leaf samples were collected (Fig. 4). The same was for biotype 102 and 148 after treatment 5. The selection of TSR ALOMY plants due to herbicide strategies differ between the ALOMY biotypes. It depends on the resistance situation on the field and the resistance characterisation of the ALOMY populations which herbicide strategy will be successful. For example treatment 2 (pre-emergence and post-emergence application) reduces TSR-ALOMY plants in biotype 102, while biotype 201 showed increasing numbers of ACCase TSR. Also treatment 4, with three applications timings, did not control biotype 201. The number of ACCase TSR increased in this case dramatically.

Discussion

The strong influence of herbicides on the evolution of herbicide resistance is well known. DÉLYE *et al.* (2007) detected a strong relationship between the frequency of use of ACCase inhibitors and an increasing number of resistant black-grass biotypes. The powerful selective pressure targeting a

single gene or a few genes is consequently expected to rapidly increase the frequency of mutation conferring the adapted phenotypes (MENCHARI *et al.*, 2006; MARECHAL *et al.*, 2009; PETIT *et al.*, 2010). This is why we started the investigations of the impact of imazamox containing herbicides on the development of resistance in black-grass. The trial includes three black-grass biotypes with different resistance pattern. Biotype 102, originated from UK reflects with its wide ACCase- and ALS-TSR (+ NTSR) the "typical" British black-grass biotype. Biotype 148, originated from Germany shows a slight ACCase-TSR + NTSR which are also typical for German black-grass. The third biotype 201, originated from France shows a very strong ACCase-TSR at the position 1781 (+ NTSR) and reflects the French black-grass situation. This study shows that the efficacy of the herbicide programmes clearly depends on the resistance pattern of the black-grass biotype on the field. There is no general recommendation of one single herbicide strategy to avoid the risk for further selection of resistant weeds. The good results of the Kerb flo treatment lead to the assumption, that this herbicide could preserve everything. Regarding the optimal treatment conditions in the container trial (for example watering the container after the treatment) it is possible, that we overestimate the efficacy of Kerb flo. In the field situation it is quite often not possible to spray Kerb flo in the winter time because of the inappropriate weather conditions. It is necessary to act before.

The frequent use of ALS-inhibitors in one crop rotation can be problematic if the risk of further selection of resistant weeds will not be regarded. Therefore, it is still necessary to follow the general recommendations of resistance management with all non-chemical aspects, independent if CL-OSR or non CL-OSR is grown.

References

- DÉLYE, C., Y. MENCHARI, J. P. GUILLEMIN, A. MATEJICEK, A. MICHEL, C. CAMILLERI and B. CHAUVEL, 2007: Status of black-grass (*Alopecurus myosuroides*) resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in France. *Weed Research* **47**, 95-105.
- MARECHAL, P. Y., F. HENRIET and B. BOSDON, 2009: Treatment influence on herbicide resistance level of Belgian *Alopecurus myosuroides* populations (black-grass). *Communications in Agricultural and Applied Biological Science* **74**, 505-514.
- MENCHARI, Y., C. CAMILLERI, S. MICHEL, D. BRUNEL, F. BESSAINT, V. Le CORRE and C. DÉLYE, 2006: Weed response to herbicides: regional-scale distribution of herbicide resistance alleles in the grass weed *Alopecurus myosuroides*. *New Phytologist* **171**, 861-874.
- PETIT, C., B. GUILLAUME, F. PERNIN und C. DÉLYE, 2010: Prevalence of cross- or multiple resistances to the acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors fenoxaprop, clodinafop and pinoxaden in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in France. *Pest Management Science* **66**, 168-177.
- PRESTON, C., 2003: Growing herbicide tolerant canola – managing weeds and preventing problems. *Proceedings of the 2003 Victorian Cropping Systems Update*, February 19 - 20, 2003. (Eds Kaminskas D. and S. Rawlings), South Australia, Jon LambCommunications, 140-141.

Senkung des Selektionsdrucks von Herbiziden – Möglichkeiten und Grenzen eines Managements von Acker - Fuchsschwanz mit Clethodim in Raps bei Vorkommen des Haplotyps Leu1781

Reduction of selection pressure of herbicides - options and limits for blackgrass management by using clethodim in oilseed rape in the presence of the Leu1781 haplotype

Jean Wagner^{1*}, Jens Heisrath², Jan Juister³, Tjard Ommen³ und Albert Günningmann⁴

¹Plantalyt GmbH, Vahrenwalder Str. 269A, 30179 Hannover

²ABIP GbR, Lange Gasse 6, 78661 Dietingen

³LW- Versuche Boning Juister Ommen GbR

⁴Cheminova Deutschland GmbH & Co. KG

*Korrespondierender Autor: jean.wagner@plantalyt.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.032

Zusammenfassung

In Feldversuchen wurde Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*, Huds.) in Raps an 6 Standorten in Nord- und Süddeutschland mit vermuteten Resistenzproblemen mit Clethodim (Select EC 240) bzw. Cycloxydim (Focus Ultra) mit und ohne Nachbehandlung mit Propyzamid (Kerb FLO) bekämpft. Begleitend wurden molekulargenetische Analysen von Blattproben durchgeführt, um das Vorkommen von Acker-Fuchsschwanz mit dem Haplotyp Leu1781 und die Häufigkeit der Genotypen zu erfassen. Das Ziel der Versuche war es, die Bekämpfungserfolge an den Standorten mit dem Vorkommen der hetero- und homozygot resistenten Genotypen des Acker-Fuchsschwanzes zu korrelieren. In Gewächshausversuchen hat sich gezeigt, dass Clethodim den Haplotyp Leu1781 schwächer selektiert als Cycloxydim und heterozygote Pflanzen generell einen niedrigeren Resistenzfaktor zeigen als homozygote Pflanzen. Die Versuchsfrage lautete, ob sich der Anteil heterozygoter Pflanzen bei einer Bekämpfung mit Clethodim durch eine höhere Wirkung aufgrund einer niedrigeren Resistenzausprägung in Feldversuchen bemerkbar macht. An 5 der gewählten 6 Standorte konnte eine Wirkort-Resistenz mit dem Haplotyp Leu1781 nachgewiesen werden. An einem Standort korrelierte der hohe Anteil an heterozygoten Pflanzen mit dem höheren Bekämpfungserfolg von Select EC 240 (80 %) gegenüber Focus Ultra (0 %). An zwei Standorten mit hohem Anteil an homozygoten Pflanzen konnte mit den Solo-Varianten Select EC 240 und Focus Ultra keine ausreichende Bekämpfung durchgeführt werden. Hier konnte bei einer Nachbehandlung mit Kerb FLO eine zum Teil zufriedenstellende Bekämpfung erzielt werden. An einem Standort wurde trotz Verdacht keine Resistenz mittels molekulargenetischer Analyse nachgewiesen. Hier war die Wirkung von Select EC 240 und Focus Ultra gegen Acker-Fuchsschwanz in allen Varianten mit und ohne Kerb FLO gleich gut. Die Untersuchungen belegen den höheren Bekämpfungsgrad von Pflanzen mit dem Haplotypen Leu1781 durch den Wirkstoff Clethodim und zeigen auf, dass die Frequenz von resistenten Genotypen (homo- vs. heterozygot) einen deutlichen Einfluss auf die Resistenzselektion durch Clethodim hat. Die Untersuchungen belegen, dass es notwendig ist in der Resistenzforschung die Resistenzmechanismen wirkstoffabhängig zu betrachten und auch das Verständnis darüber der Praxisberatung näher zu bringen. Ein sinnvoller Einsatz von DIMs in Flächen mit dem Haplotypen Leu1781 kann nur mit Hilfe eines propyzamidhaltigen Herbizids und dem gezielten Einbau von ackerbaulichen Maßnahmen (z.B. Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung) zur Acker-Fuchsschwanzbekämpfung abgesichert werden.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, Clethodim, Cycloxydim, heterozygot, homozygot, lle1781-Leu, Pyrosequenzierung, Wirkort-Resistenz

Abstract

In field experiments the control of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*, Huds.) in oilseed rape using clethodim (Select EC 240) and cycloxydim (Focus Ultra) with and without subsequent treatments with propyzamide (Kerb FLO) was tested at 6 locations in North and South Germany with assumed resistance problems. The field experiments were accompanied using molecular analysis leaf samples from the plots to seize the occurrence of black-grass with the Leu 1781 haplotype and to determine the frequency of the genotypes. The goal of the trials was to correlate the successes of blackgrass control with the occurrence of hetero- and homozygous resistant genotypes. It was shown in greenhouse trials that clethodim selects the haplotype Leu1781 more weakly (and it shows a higher partial efficacy) than cycloxydim and that heterozygous plants have a lower resistance factor than homozygous plants. The question raised whether the frequency of heterozygous plants has influence on increased efficacy of clethodim under field conditions. At 5 sites target-site resistance was

detected. At one location the high proportion of heterozygous plants correlated positive with relative higher control using Select EC 240 (80%) compared to Focus Ultra (0%). At two locations with high proportion of homozygous resistant plants Select EC 240 and Focus Ultra treatments without subsequent treatments with Kerb FLO were not sufficient in solo variants. The subsequent treatments with Kerb FLO provided partly, but not sufficient control of black-grass. At one location no resistance was identified. The effect of Select EC 240 and Focus Ultra to control black-grass were comparable high in all variants with and without subsequent treatments of Kerb FLO. The investigations showed clearly a higher degree of control by plants with the haplotype Leu1781 by the active substance clethodim and pointed out the fact that the frequency of resistant genotypes (homo vs. heterozygous resistant plants) has a clear influence on the resistance selection. The use of DIMs at locations suspected to be resistant should be assured only with the help of propyzamide and non-chemical measurements (e. g. ploughing, crop rotation). The results also indicate that it is necessary to assess resistance mechanisms in resistance research individually depending on the active ingredients, inheritance and weed species.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, clethodim, cycloxydim, homozygous, heterozygous, pyrosequencing, target-site resistance

Einleitung

Die Ausbreitung von Herbizidresistenz wird durch inhärente und agronomische Faktoren beeinflusst (EPPO, 2003). Zu den inhärenten Faktoren gehört die Höhe der Resistenzausprägung, die durch den Resistenzfaktor oder Resistenz-Index beschrieben wird (POWLES and SHANER, 2001). Er setzt sich zusammen aus dem Herbizid, der Unkrautart, der Anzahl und Art der Resistenzmechanismen, der Häufigkeit der Mechanismen in einer Population und der Vererbung (bzw. dem Ploidiegrad und der Genotypen-Frequenz). Für ein rationales Resistenzmanagement bedarf es einer genaueren Aufschlüsselung der Resistenzfaktoren. Diese sind für jedes Herbizid und für jeden Mechanismus individuell. Hinzu kommt, dass in jeder Population einer Pflanzenart verschiedene Genotypen von einem Resistenzmechanismus vorkommen, die jeweils einen eigenen Resistenzfaktor haben. WAGNER und BELZ (2014) haben in Dosis-Wirkungsversuchen die Ausprägung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*, Huds.) mit einer Wirkort-Resistenz Ile/Leu1781 gegenüber den Wirkstoffen Clethodim und Cycloxydim (ACCCase-Inhibitoren, HRAC-Klasse A) auf Populations- und Genotypen-Ebene untersucht. Cycloxydim selektiert einen Acker-Fuchsschwanz mit einem Leu1718 ACCCase-Allel intensiver als das Clethodim. Es konnte aus den Untersuchungen für Clethodim ein Resistenzfaktor von 10 für die homo- bzw. 6 für die heterozygote Teilpopulation berechnet werden. Bei Cycloxydim lag der Resistenzfaktor bei 136 für die homo- bzw. 118 für die heterozygote Teilpopulation.

Die Cyclohexandione ("DIMs"), zu denen die Wirkstoffe Tepraloxymid, Cycloxydim und Clethodim gehören, sind derzeit anders als die Gruppe der Aryloxyphenoxypropionsäuren ("FOPs"), zu denen z. B. das Fenoxaprop-P-ethyl zählt, nicht von einer metabolischen Resistenz betroffen. Somit lassen sich im Fruchtwechsel in Nicht-Getreide Kulturen metabolische Resistenzen mit DIMs unterdrücken. Der einzige Resistenzmechanismus ist die Wirkort-Resistenz. Von den derzeit sieben beschriebenen variablen Position Ile1781, Trp1999, Trp2027, Ile2041, Asp2078, Cys2088 und Gly2096 im Protein ACCase (LIU *et al.*, 2007; DELYE *et al.*, 2005) zeigt nur der Haplotyp Gly2078 eine Resistenz gegen alle drei DIMs, während der Haplotyp Leu1781 eine ausgeprägte Resistenz gegen Cycloxydim und eine schwach ausgeprägte gegen das Tepraloxymid und Clethodim zeigt. Damit ist der einzige stark ausgeprägte Resistenzmechanismus gegen Tepraloxymid und Clethodim die Wirkort-Resistenz durch den Haplotyp Gly2078. Das schließt aber nicht aus, dass Minderwirkungen bei Tepraloxymid und Clethodim durch andere Varianten der Wirkort-Resistenz, wie z. B. durch den Haplotyp Leu1781 auftreten können.

Die Berichte aus der Praxis über Teilerfolge bei der Bekämpfung von Leu1781-Acker-Fuchsschwanz mit Clethodim-haltigen Herbiziden sind widersprüchlich. Da Gewächshausergebnisse zeigten, dass sich homo- und heterozygote Pflanzen tendenziell in ihrer Empfindlichkeit unterscheiden (heterozygote Pflanzen sind im Trend empfindlicher, WAGNER und BELZ, 2014), sollte untersucht werden, ob es eine Korrelation zwischen der Häufigkeit von hetero-

bzw. homozygotem Leu1781-Acker-Fuchsschwanz und dem Teilerfolg bei der Bekämpfung mit Clethodim im Feld gibt.

Dazu wurden Versuche in Raps angelegt. Die Schläge wurden ohne Vorkenntnisse über das Vorkommen von Wirkort-Resistenz in den Acker-Fuchsschwanz-Populationen ausgewählt und zum Zeitpunkt der Applikation der Herbizide im Herbst und der Bonitur im Frühjahr wurden Blattproben von Acker-Fuchsschwanzproben gesammelt und molekulargenetisch analysiert. Eine Konsolidierung der Ergebnisse wird in diesem Beitrag vorgestellt und diskutiert.

Material und Methoden

Feldversuche

An 6 Standorten in Nord- und Süddeutschland wurden in Raps mehrgliedrige Versuche angelegt. Die Standorte sind in Tabelle 1 und die Versuchsglieder sind in Tabelle 2 beschrieben. Die Standard-Parzellengröße betrug 10 m².

Tab. 1 Charakterisierung der Versuchsstandorte.

Tab. 1 Characterization of trial locations.

Standort	Höhe über NN [m]	Niederschlag* (mm)	Temperatur*	Bodenart nach DIN 4220
Region Nord				
Balje	4	830	8,4 °C	Ltu
Wischhafen	1	778	7,9 °C	Ltu
St. Joost	1	778	7,9 °C	Ltu
Region Süd				
Dormettingen	650	880	8,1 °C	T
Talheim	760	920	7,0 °C	TI
Dietingen	580	850	7,9 °C	Lt

*langjähriges Mittel

Aus den Varianten 1 (unbehandelt), 2 (0,5 l/ha Select 240 EC, 241,9 g/l Clethodim) und 3 (2,5 l/ha Focus Ultra, 100 g/l Cycloxydim) wurden je Parzelle 8 Blattproben von Acker-Fuchsschwanzpflanzen entnommen. Jede Blattprobe stammte von einer Pflanze. Die Varianten mit Kerb FLO wurden nicht beprobt.

Tab. 2 Versuchsglieder.

Tab. 2 Treatments.

Versuchsglieder	Produkte	Aufwand (l/ha), Anwendungszeitpunkt NAH
1	unbehandelt	0
2	Select 240 EC + Para Sommer	0,5 + 2
3	Focus Ultra + Dash	2,5 + 2,5
4	Select 240 EC + Para Sommer + Kerb FLO?	0,5 + 2 + 1,8
5	Focus Ultra + Dash + Kerb FLO?	2,5 + 2,5+1,8

In Tabelle 3 sind die Termine der Herbizidbehandlungen der Standorte, das Stadium von Raps und Acker-Fuchsschwanz und der Deckungsgrad von Acker-Fuchsschwanz zum Zeitpunkt der Behandlung aufgeführt.

Tab. 3 Durchführung der Behandlungen.

Tab. 3 Details on application.

Standort	Behandlungstermin	BBCH Raps/Acker- Fuchsschwanz	Stadien	Deckungsgrad Acker- Fuchsschwanz %
Region Nord				
Balje	02.10.2012	13-15/14-23		20
Wischhafen	02.10.2012	12-15/12-23		17,3
St. Joost	12.10.2012	13-16/13-21		50
Region Süd				
Dormettingen	04.10.2012	14-16/11-13		77
Talheim	11.10.2012	18-20/12-25		20
Dietingen	04.10.2012	14-16/11-13		33

Molekulargenetische Analysen

Die Pflanzenproben wurden im Herbst zum Zeitpunkt der Applikation und zum Zeitpunkt der 2. Bonitur im Frühjahr entnommen. Pro Einzelpflanze wurden ca. 2 cm lange Blattstücke von vitalen Blättern abgeschnitten und bei Raumtemperatur getrocknet. Nach der Trocknung wurde die DNA der Pflanzen mit einem kommerziell erhältlichen Kit zur DNA Aufreinigung extrahiert. Die DNA-Extrakte wurden als Template in einer PCR eingesetzt, um die entsprechenden Abschnitte des ACCase-Gens, die für das Ile/leu1781 kodieren, zu amplifizieren und wurden mittels der Pyrosequencing-Technologie analysiert. Für weitere Details siehe WAGNER und BELZ (2014).

Ergebnisse und Diskussion

Ergebnisse der Feldversuche

Die Versuchsglieder sind in zwei Gruppen unterteilt: mit und ohne Nachbehandlung mit Kerb FLO (Wirkstoff Propyzamid). Die Ergebnisse der Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfung sind standortspezifisch zu bewerten und korrelieren positiv mit den genetischen Analysen über das Vorkommen der Wirkort-Resistenz. Im Trend zeigt sich der deutlich höhere Bekämpfungserfolg durch die Kerb FLO Nachlage an allen Standorten (Tab.4). Eine Ausnahme ist der Standort Talheim. Hier gab es keine Unterschiede im Bekämpfungserfolg über alle Varianten. Eine Bekämpfung mit Select 240 EC und Focus Ultra war mit und ohne Kerb FLO vergleichbar gut (Wirkungsgrad 99-100 %). Für die Standorte Balje, Dietingen und Dormettingen konnte erst durch die Kerb FLO Nachlage ein noch akzeptables bis befriedigendes Ergebnis sowohl für Select 240 EC (Wirkungsgrad 96-99 %), als auch für Focus Ultra (Wirkungsgrad 91-95 %) erzielt werden. An den Standorten St. Joost und Wischhafen konnte ohne und auch mit einer Kerb FLO Nachlage kein ausreichender Bekämpfungserfolg von Acker-Fuchsschwanz sowohl mit der Select 240 EC Variante, als auch der Focus Ultra Variante erzielt werden. Unter diesen Bedingungen wird deutlich, dass zusätzlich ackerbauliche Maßnahmen zur Acker-Fuchsschwanzbekämpfung eine große Rolle einnehmen müssen. Um das Samenpotential des Acker-Fuchsschwanzes niedrig zu halten ist ein geschicktes Kombinieren von der Fruchtfolgegestaltung, der Boden- und Saatbettbearbeitung sowie der Wahl eines günstigen Saattermins notwendig. Da in der Zukunft auf den Herbizideinsatz nicht verzichtet werden kann, sollten alle erwähnten Maßnahmen genutzt werden solange eine Resistenzetablierung eines Schlages noch in den Anfängen steht.

Tab. 4 Ergebnisse der Feldversuche (Boniturnote, Wirkungsgrade, Mittelwert aus drei Wiederholungen).
 Tab. 4 Results of field trials (visual rating, mean of three replications).

Standort	Versuchsglied 2: 0,5 l/ha Select 240 EC + 2 l/ha Para Sommer	Versuchsglied 3: 2,5 l/ha Focus Ultra + 2,5 l/ha Dash	Versuchsglied 4: 0,5 l/ha Select 240 EC + 2 l/ha Para Sommer + 1,8 l/ha Kerb FLO (Nachlage)	Versuchsglied 5: 2,5 l/ha Focus Ultra + 2,5 l/ha Dash + 1,8 l/ha Kerb FLO (Nachlage)
Balje	97 %	87 %	97 %	95 %
Dietingen	80 %	0 %	99 %	93 %
Dormettingen	53 %	0 %	96 %	91 %
St. Joost	62 %	60 %	55 %	60 %
Talheim	99 %	100 %	100 %	100 %
Wischhafen	78 %	53 %	80 %	63 %

Genetische Analysen

Mittels Pyrosequencing wurden die Positionen Ile/Leu1718 und Asp/Gly2078 des ACCase-Gens genotypisiert. In Abbildung 1 sind die Pyrosequencing-Ergebnisse für die fünf möglichen Genotypen an der Stelle 1781 dargestellt. Für die Position 1781 kann die DNA-Sequenz auf dem ACCase-Gen ATA für Ile1781 (sensitiv bzw. keine Wirkort-Resistenz an der Stelle) und CTA bzw. TTA für Leu1781 sein.

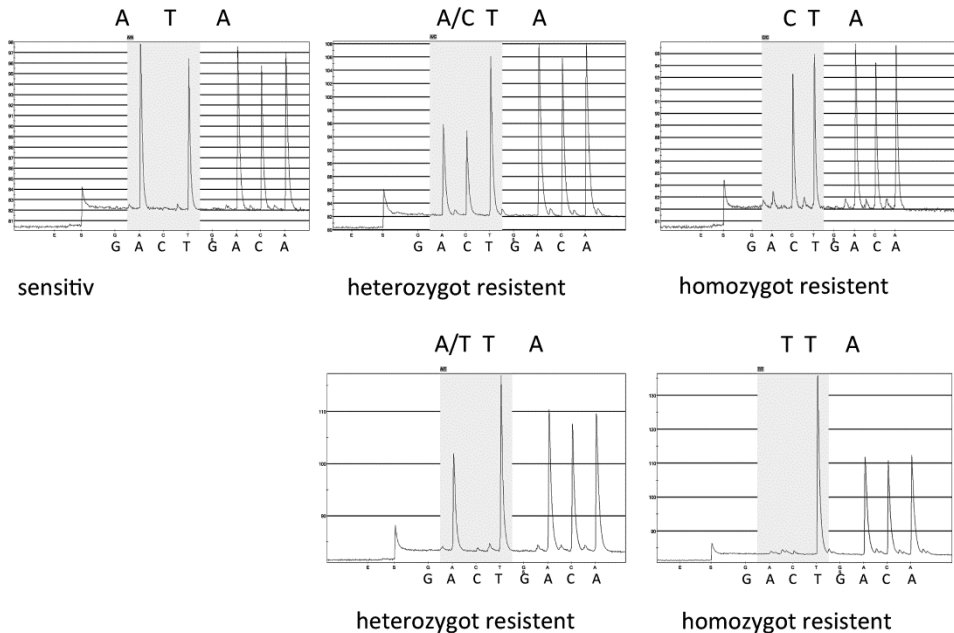


Abb. 1 Pyrogramme von sensitiven, mischerbigen (heterozygoten) und reinerbigen (homozygoten) Pflanzen des Acker-Fuchsschwanz an der Position 1781 der ACCase.

Fig. 1 Pyrogram of sensitive, heterocygous, and homocygous plants of blackgrass at position 1781 on the ACCase.

An fünf Standorten konnte eine Wirkort-Resistenz durch Leu1781 nachgewiesen werden (Tab. 5 und 6). An einem Standort (Talheim) waren keine Resistenz und keine Minderwirkung gegen Acker-Fuchsschwanz festzustellen. Am Standort Dietingen dominierte der Haplotyp CTA, während an den übrigen vier Standorten der Haplotyp TTA dominierte. Die Resistenzgrade sind für beide Haplotypen identisch, weil sie für die gleiche Aminosäure kodieren. Die Ergebnisse für die Position 2078 sind nicht dargestellt. Am Standort Dietingen konnten bei der Analyse nach Applikation (bzw. der Beprobung zum Zeitpunkt der Bonitur) fünf Pflanzen mit einer Wirkort-Resistenz durch den Gly2078 Haplotyp identifiziert werden (9 %). Alle übrigen Pflanzen an diesem Standort und 100 % der Pflanzen aller anderen Standorte zeigten den Asp2078 Haplotyp (sensitiv bzw. keine Wirkort-Resistenz an der Stelle).

Eine Korrelation der Ergebnisse aus der Tabelle 4 und den Tabellen 5 und 6 zeigt folgendes Bild: An den Standorten mit nachgewiesener Wirkort-Resistenz 1781 (Balje, Dietingen, Dormettingen und Wischhafen) ist eine deutlich schlechtere Wirkung in den Solo-Behandlungen mit Focus Ultra gegenüber den Behandlungen mit Select 240 EC festzustellen. Der Wirkungsabfall bei Focus Ultra (87 %) korreliert am Standort Balje mit einem Anteil von 21 % der Pflanzen mit einer Wirkort-Resistenz durch Leu1781 (homo- und heterozygote Genotypen). Die Solo-Behandlungen Select zeigen hier eine noch gute Wirkung mit 97 %. Die schlechte Wirkung kompensiert sich hier größtenteils durch die Kerb-Nachlage in den entsprechenden Varianten. Am Standort Dietingen war der Anteil resistenter Pflanzen sehr hoch (60 %). Hier korreliert das schlechtere Abschneiden der Focus Ultra Behandlung mit dem Anteil resistenter Pflanzen. Die Diskrepanz zwischen der Solo-Behandlungen mit Focus Ultra (0 %) gegenüber den Behandlungen mit Select 240 EC (80 %) korreliert mit dem hohen Anteil der heterozygoten Pflanzen (53 % der resistenten Pflanzen sind heterozygot). Die Interpretation ist die, dass ein hoher Anteil heterozygoter Pflanzen noch durch die Select 240 EC Behandlung erfasst wird. Diese Pflanzen haben einen niedrigen Resistenzfaktor von 6 gegen das clethodim-haltige Select 240 EC und von 118 gegen das cycloxydim-haltige Focus Ultra (WAGNER und BELZ, 2014). Steigt jedoch der Anteil der homozygoten Pflanzen fällt die Wirkung von Select 240 EC ab. Das zeigt die Korrelation der Ergebnisse für die Standorte Dormettingen und Wischhafen mit den genetischen Analysen. Am Standort Dormettingen wurde in 95 % und am Standort Wischhafen in 78 % der Pflanzen eine Wirkort-Resistenz nachgewiesen. An beiden Standorten ist der Anteil homozygoter Pflanzen sehr hoch (an beiden Standorten 41%). Die Minderwirkung von Focus Ultra ist zwar stärker ausgeprägt, aber auch mit einer Solo-Behandlung mit Select 240 EC gelingt keine ausreichende Bekämpfung. Das lässt sich auf den hohen Anteil der homozygoten Pflanzen zurückführen, die einen deutlich höheren Resistenzfaktor von 10 und 136 haben (WAGNER und BELZ, 2014).

Tab. 5 Ergebnisse der Analysen von Blattproben zum Zeitpunkt der Herbizid-Anwendung.

Tab. 5 Results of analysis of leaf samples at the time of herbicide application.

Standort	Summe analysierter Pflanzen	Genotyp lle1781 A/A (sensitiv)	Genotyp lle/Leu 1781 A/T (heterozygot; resistent)	Genotyp Leu1781 T/T (homozygot; resistent)	Genotyp lle/Leu 1781 A/C (heterozygot; resistent)	Genotyp Leu1781 C/C (homozygot; resistent)
Balje	56	44 (78 %)	4 (7 %)	0	8 (14 %)	0
Dietingen	72	29 (40 %)	0	0	38 (53 %)	5 (7 %)
Dormettingen	73	4 (5 %)	39 (53 %)	30 (41 %)	0	0
St. Joost	90	76 (84 %)	14 (16 %)	0	0	0
Talheim	72	72 (100 %)	0	0	0	0
Wischhafen	69	15 (22 %)	24 (35 %)	28 (41 %)	2 (3 %)	0

Tab. 6 Ergebnisse der Analysen von Blattproben zum Zeitpunkt der Wirkungsbonitur.**Tab. 6** Results of analysis of leaf samples at the time of efficacy rating.

Standort	Summe analysierter Pflanzen	Genotyp lle1781 A/A (sensitiv)	Genotyp lle/Leu 1781 A/T (heterozygot; resistent)	Genotyp Leu1781 T/T (homozygot; resistent)	Genotyp lle/Leu 1781 A/C (heterozygot; resistent)	Genotyp Leu1781 C/C (homozygot; resistent)
Balje	51	14 (27 %)	24 (44 %)	11 (22 %)	2 (4 %)	0
Dietingen	72	21 (29 %)	0	0	45 (63 %)	6 (8 %)
Dormet-tingen	72	18 (25 %)	31 (43 %)	23 (32 %)	0	0
St. Joost	78	72 (92 %)	5 (6 %)	1 (1 %)	0	0
Talheim	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Wischhafen	66	15 (23%)	31 (47 %)	20 (30%)	0	0

Die Minderwirkung am Standort St. Joost kann hier durch eine Korrelation der Ergebnisse nicht erklärt werden. Der relativ geringe Anteil von Pflanzen mit einer nachgewiesenen Wirkort-Resistenz sowohl zum Zeitpunkt der Applikation (16 %, Tab. 5), als auch zum Zeitpunkt der Bonitur (7 %, Tab. 6) liefert keine ausreichende Erklärung der Minderwirkung sowohl in der Solo-Behandlung, als auch mit Kerb FLO-Nachlage für Focus Ultra und Select 240 EC. Es kann hier nicht geklärt werden, ob es sich um eine alternative Resistenzform handelt, oder ob hier der hohe Deckungsgrad von Acker-Fuchsschwanz (50 %) eine Rolle spielt und damit nicht eine Resistenz ursächlich ist für die Minderwirkung. Es bleibt fest zu halten, dass der schmale Grat einer ausreichenden Bekämpfung von mehrheitlich heterozygoten Pflanzen mit dem Clethodim-haltigen Produkt Select 240 EC mit Kerb FLO-Nachlage ausreichen kann, um dem Ziel, einer Null-Toleranz bei der Bekämpfung von resistentem Acker-Fuchsschwanz näher zu kommen. Der Praktiker muss sich aber bewusst sein, dass jeder Acker-Fuchsschwanz, der eine Select 240 EC Behandlung dank der Wirkort-Resistenz Leu1781 übersteht und diese auch homozygot trägt und dann auch zur Blüte und Samenreife kommt, einen weiteren Beitrag zur Entwicklung der Resistenz einer Population beiträgt.

Literatur

- EPPO, 2003: EPPO Standards: efficacy evaluation of plant protection products. PP 1/213(2) resistance risk analysis. Bull. EPPO/OEPP Bull. **33**, 37-63.
- DELYE, C., Z. XIAO-QI, S. MICHEL, A. MATEJICEK und S.B. POWLES, 2005: Molecular Bases for Sensitivity to Acetyl-Coenzyme A Carboxylase Inhibitors in Black-Grass, Plant Physiology **137**, 794–806.
- POWLES, S. B. und D. SHANER (Eds.): Herbicide Resistance and World Grains. S.B. Powles and D. Shaner (Eds.), CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA.
- LIU, W., D.K. HARRISON, D. CHALUPSKA, P. GORNICKI, C.C. O'DONNELL, S.W. ADKINS, R. HASELKORN und R.R. WILLIAMS, 2007: Single-site mutations in the carboxyltransferase domain of plastid acetyl-CoA carboxylase confer resistance to grass-specific herbicides, PNAS, February 27, 2007, vol. **104**, no. 9, 3627–3632.
- WAGNER, J. und R. BELZ, 2014: Resistenzausprägung von hetero- und homozygot resistenten Genotypen eines Acker-Fuchsschwanz-Biotypen mit Target-Site Resistenz (Haplotyp Leu1781) in Dosis-Wirkungsversuchen mit Clethodim und Cycloxydim. Julius-Kühn-Archiv **443**.

The use of hormone herbicides for resistance management and control of difficult weeds in cereal crops in the UK (with special reference to Scotland)

Resistenzmanagement und Bekämpfung von Unkräutern in Getreide in Großbritannien durch Anwendung von Phenoxyherbiziden (unter besonderer Berücksichtigung von Schottland)

Andrew Mark Ballingall

SRUC, West Mains Road, Edinburgh, UK, EH9 3JG
mark.ballingall@sruc.ac.uk



DOI 10.5073/jka.2014.443.033

Summary

This paper reviews the importance of phenoxy herbicides (hormone herbicides) in Scottish Agriculture with specific reference to the spring barley crop, the most important cereal crop in Scotland. In 2013 the agricultural census figures showed that to 296,000 hectares of spring barley were planted in 2013. Of this area pesticide usage surveys estimate that 72% of the spring barley crop was sprayed with a metsulfuron-methyl, (sulfonylurea/ALS inhibitor), the most common sulfonylurea in Scotland in 2012. There was a similar area of crop sprayed with a phenoxy herbicide, a figure that has remained fairly constant over the last 10 years. The phenoxy herbicides are important as standalone products but they also have an important use in resistance management of the sulfonylurea herbicide group. Sulfonylureas are the foundation of herbicide use in the spring barley crop in Scotland. The use of phenoxy herbicides in spring barley has not prevented the development of resistant to the sulfonylureas in the *Stellaria media* (common chickweed) population in the Scottish spring barley crop. Sulfonylurea resistant chickweed is not confined to the spring barley crop but is a problem in other crops in Scotland such as potatoes and maize where sulfonylureas are used. Resistance to the sulfonylurea group of herbicides has been shown to be target site occurring as result of a single mutation. The multi site mode of action of the phenoxy herbicides are useful anti-resistance options with the sulfonylureas offering control of sulfonylurea resistant *Stellaria media*. The phenoxy herbicides are also particularly useful in increasing the weed spectrum of the sulfonylureas and the use to control difficult weeds such as *Fumaria officinalis* (common fumitory) in spring barley crop.

Keywords: ALS, chickweed, phenoxy herbicides, Scotland, resistance, spring barley

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird die Bedeutung von Phenoxyherbiziden in der schottischen Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung des Anbaus von Sommergerste betrachtet. Sommergerste ist die wichtigste Getreidekultur in Schottland. Landwirtschaftliche Erhebungen aus dem Jahr 2013 zeigen, dass insgesamt 296000 Hektar Sommergerste angebaut wurden. 72 % dieser Fläche wurde mit Metsulfuron-methyl (Sulfonylharnstoff/ALS-Hemmer) behandelt, dem im Jahre 2012 am häufigsten angewendeten Sulfonylharnstoff in Schottland. Eine vergleichbare Anbaufläche, die in den letzten 10 Jahren unverändert blieb, wurde mit Phenoxyherbiziden behandelt. Phenoxyherbizide sind von großer Bedeutung als Soloprodukte und spielen eine große Rolle im Rahmen des Resistenzmanagements bei Sulfonylharnstoffen. Sulfonylharnstoffe sind die Grundlage der Unkrautbekämpfung in Sommergerste in Schottland. Die Anwendung von Phenoxyherbiziden in Sommergerste hat jedoch die Entwicklung von Sulfonylharnstoff-Resistenzen bei *Stellaria media*-Populationen in Schottland nicht verhindert. Diese Resistenzen sind nicht beschränkt auf Sommergerste, sondern kommen auch in anderen Kulturen wie Kartoffeln und Mais vor. Es konnte gezeigt werden, dass es sich bei den Sulfonylharnstoff-Resistenzen um eine wirkortsspezifische Resistenz handelt, die durch eine einzelne Mutation hervorgerufen wird. Die breite Wirkungsweise der Phenoxyherbizide ist eine Option im Resistenzmanagement bei der Bekämpfung resistenter *Stellaria media*-Populationen. Phenoxyherbizide erweitern zudem das Unkrautspektrum der Sulfonylharnstoffe, insbesondere zur Bekämpfung von Problemunkräutern wie *Fumaria officinalis* in Sommergerste.

Stichwörter: ALS, Phenoxyherbizid, Resistenz, Schottland, Sommergerste, *Stellaria media*

Introduction

The sulfonylurea or (ALS inhibitor) group of herbicides play an important role in cereal crops in Scotland, especially spring barley. The spring barley crop area in Scotland was 296,000 ha (SCOTTISH AGRICULTURE CENSUS, 2013). Figures obtained from the Scottish pesticide usage survey in 2012

showed that 70% of the spring barley crop was treated with thifensulfuron, 74% received metsulfuron-methyl and 72% was treated with a phenoxy herbicide mecoprop-p. About 200,000 ha of cereal crop received a phenoxy herbicide in Scotland in 2012 (PESTICIDE USAGE SURVEY SCOTLAND, 2012, SCOTTISH AGRICULTURAL SCIENCE AGENCY, SASA 2012). Both groups of herbicides are largely used to control broad-leaved weeds. Although a high level of phenoxy herbicides are used in spring barley. The statistics show that sulfonylureas are not always used with a tank-mix partner herbicide with a different mode of action. Either 28% of the crop is sprayed with a straight sulfonylurea or does not get sprayed at all.

The extensive use of acetolactate synthase (ALS) herbicides in numerous forms, co-formulations and trade names has led to the increase in resistant biotypes types of chickweed (*Stellaria media*) in Scotland and in England resistant poppy (*Papaver rhoeas*). Indeed resistant poppy is now wide spread in Europe (MOSS, 2004). Resistance to the sulfonylureas was first discovered in 1987 (SAARI ET AL., 1992). There is evidence that resistance to ALS inhibitors is now appearing in other broad-leaved species in Scotland such as Mayweeds (*Matricaria*). ALS inhibitors, as the sulfonylurea group of herbicides, are applied to crops across the rotation in Scotland. They are the foundation for weed control in spring barley, the most important crop in Scotland with over 290,000 hectare grown in 2013 (SCOTTISH AGRICULTURE CENSUS, 2013). In winter cereals sulfonylureas are used in the autumn to broaden the broad-leaved weed control of residual herbicides and in the spring to tidy up broad-leaved weeds.

An independent survey in 2011 confirmed > 40 cases across the UK including Northern Ireland, (Moss *et al.*, 2011), although the agrochemical trade believe the cases of chickweed resistance to be greater than officially confirmed. This resistance was identified as target site not enhanced metabolism as occurs in grass weeds. Resistant populations of *Papaver rhoeas* are more important in England, less in Scotland. There are now indications that there may be resistance in mayweed, (*Matricaria* spp.) although this has not been officially confirmed. There is a tendency on farm to use too low a rate of sulfonylurea which can cause mayweeds to regrow.

In potatoes there is a sulfonylurea for post emergence use to control broad-leaved weeds including chickweed and mayweeds (*Matricaria* spp.).

There is also a sulfonylurea awaiting approval for use in winter rape which will target chickweed another broad-leaved weeds. As well as targeting broad-leaved weeds the sulfonylureas herbicides are also widely used to control grass species in Scotland, mainly annual meadow grass (*Poa annua*) and *Bromus* species. However what is not often realised is that most of these products also control chickweed and mayweeds increasing the selection pressure.

Studies have shown that the resistant mechanism of sulfonylureas to broad-leaved weeds is target site. At least two mutations in *S. media* have been characterised, Pro-197-G and Trp0574 (MARSHAL *et al.*, 2010). There is no evidence of enhanced metabolism mechanisms that is common in grass weeds. There is no evidence of cross resistance to other herbicide groups.

Why has resistance to sulfonylurea herbicides occurred in broad-leaved weeds occurred in Scotland and elsewhere?

Over use

The first case of sulfonylurea resistance in Scotland was identified in 2000 (Moss *et al.*, 2011). Scottish Agricultural Science Agency (SASA) agency statistics for the year 2000, as shown in Table 1, indicate that 60.5% of the Scottish spring barley crop was sprayed with the sulfonylurea metsulfuron-methyl rising to 72.5% in 2012. The corresponding amount of phenoxy herbicide, (mecoprop-p mecoprop, MCPA and MCPB) used in the period 2000 to 2012 fluctuates, from 83% in 2000 and 72.24% in 2012, a decrease of 13%.

Although a slight decline in use, phenoxy herbicides they still have a good market share, being promoted as a tank-mix option with the sulfonylureas. It is recognised they have a different mode of action to the sulfonylureas. They are translocated in the plants phloem affecting many parts of

the plants metabolism including photosynthesis, respiration and nitrogen uptake (ROBERTSON and KIRKWOOD, 1970). The sulfonylureas on the other hand work on a single point ALS gene in the meristemic tissue. Thus the combination of a sulfonylurea and a phenoxy herbicide is a good anti resistance strategy protecting the sulfonylurea group and broadening the weed spectrum.

The area of spring barley treated with (fluroxypyr) increased from a base in 2002 of 2.52% to nearly 18% in 2012. Added to the 72% treated with a phenoxy herbicide gives an area of 90% of the crop treated. This increase in fluroxypyr corresponds to promotion of products alongside the phenoxy herbicides for use with sulfonylureas as anti-resistance strategy.

Tab. 1 Percentage (%) herbicide use on spring barley for the years 2000-2012. (Scottish Agricultural Science Agency Product Usage Survey).

Tab. 1 Herbizidanwendung (%) in Wintergerste der Jahre 2000-2012. (Scottish Agricultural Science Agency Product Usage Survey).

year	total ha	%	%	%	%
	SB	phenoxy*	thifensulfuron	metsulfuron	fluroxypyr
2000	255	83	50	60.46	
2002	264	74.75	56	60.54	2.52
2004	259	84.59	64	71.84	1.38
2006	220	79.86	57	51.65	2.9
2008	262	70.42	68	58	2.87
2010	242	64.35	70	64	10
2012	289	72.24	70	72.5	17.93

*includes MCPA and MCPB

Improper use

There is no doubt that sulfonylureas are not always used in Scotland with a partner product such mecoprop-p. There are many reasons for this. The increase in cost is certainly a factor. The weed spectrum that modern sulfonylurea mixes offer can be attractive negating the extra cost of an additional phenoxy herbicide. Sulfonylureas are often sold in combination, e.g. Harmony M, (metsulfuron-methyl+thifensulfuron) which gives a good weed spectrum. However even these products miss out on important weeds. The addition of a phenoxy herbicide such as mecoprop-p improves control of important weeds such as *Fumaria officinalis*, *Polygonum* species, *Galium aparine*, *Gliosis tetrahit*, all important weeds in Scottish Agriculture. Another often neglected phenoxy herbicide MCPA provides useful control of another common weed in spring cereals, *Cirsium vulgare* as well as controlling *Galeopsis tetrahit*.

Spring barley usually suffers from manganese deficiency at the young plant stage. Historically the cheaper formulations of manganese sulphate did not mix well with phenoxy herbicides so that they were often omitted from the mix so that the sulfonylureas were often applied as single products. Now with better formulations of manganese there is not a tank-mix problem and no barrier to the use of phenoxy herbicides in complex tank-mixes.

In conclusion the phenoxy herbicides have maintained there market share of the Scottish spring barley market since 2000 (Tab. 1) and will perhaps increase if cases of recorded sulfonylurea resistant chickweed continue to rise.

Phenoxy herbicides and control of difficult weeds in Scotland.

Common Fumitory (*Fumaria officinalis*) is becoming an important weed in crop rotation in Scotland. It has been the increasing partly due to the wide spread use of diflufenican in winter cereal crops, which controls a wide spectrum of weeds of broad-leaved weeds but not *Fumaria*

officinalis. Fumitory can be controlled by mecoprop-p but only at a high rate. Often the application rate used is not high enough, allowing the Fumitory to regrow as shown in Table 2. Trials and commercial practice has shown the rate of mecoprop-p needs to be at least 1.0 L/ha for complete kill. The issue is compounded by the fact that there are other species of *Fumaria officinalis* and *Fumaria capreolata* (white ramping Fumitory), which appears to be less tolerant to phenoxy herbicides.

Tab. 2 Control of *Fumaria officinalis* (Fumitory) in spring barley at a site Scotland. The benefits of phenoxy herbicides.

Tab. 2 Bekämpfung von *Fumaria officinalis* in Sommergerste auf einem Schlag in Schottland. Vorteile der Phenoxyherbizide.

	Fumitory control 34 DAT
Untreated (7 plants/m ²)	0
Spitfire, (fluroxypyr + florasulam) 0.75 L	30.4
Spitfire 0.75 L+Duplosan KV (mecoprop-p) 1.0 L	100
Spitfire 0.75 L+HBN (loxynil+Bromoxynil) 0.75 L	47.8
Galaxy (clopyralid + fluroxypyr + clopyralid) 1.0 L	1
Galaxy 1.0 L + Duplosan 1.0 L	100
Galaxy 1.0 L + HBN 0.75 L	30.4
Spitfire 0.75 L+ Saxon (Dicamba + Mecoprop-p) 0.75 L	82.6
Spitfire 0.75 L+ Dicamba + Duplosan KV1.0 L	100
Harmony M 50G + Duplosan 0.5 L + HBN 0.5 L	82.6
Harmony M 50G+ MCPA1.0 L	65
Refine Max 56G (metsulfuron-methyl + thifensulfuron) + Saxon 0.75 L	82.6

The choice of phenoxy herbicide is important depending on weed spectrum. MCPA was shown in this trial to be not the product of choice. However MCPA still has a place in the Scottish spring barley crop. A small percentage of the spring barley crop is under sown with a grass clover mix. This technique is used to drill a grass/clover crop in sequence with a cereal crop in the spring so that after the cereal crop is harvested there is crop of grass for grazing. Weed control can be difficult in this scenario as clover is not tolerant to commonly used sulfonylureas plus mecoprop-p mixes. What is clover safe is the phenoxy herbicide 2,4-DB. However 2,4-DB has a limited weed spectrum and is commonly mixed with up to a litre/ha of MCPA. This type of use would account for the proportion of the spring barley sprayed with MCPA which according to SASA usage survey for 2012 amounts to 4.69 %.

Discussion

The phenoxy herbicides have a major place in the Scottish arable sector for the use as an anti resistant strategy to protect the sulfonylureas herbicides and/or increase their weed spectrum. There are new herbicide groups under development for cereal crops; in fact it is likely we will continue to lose herbicides as they fail to meet EU Annex 3 data requirements or will be up for substitution. Indeed next season farmers in Scotland will not be able to use ioxynil containing products and co-formulations such as Oxytril CM (ioxynil + bromoxynil) and chlorotoluron is under revocation and use up on farm. Both products have key broad-leaved weeds in their spectrum which will be lost. Despite being old chemistry the phenoxy herbicides have maintained their market share is perhaps a cost effective alternative to revoked and lost products?

In conclusion phenoxy herbicides still have a major place in Scottish agriculture to broaden the weed spectrum of sulfonyleureas in spring barley and to control difficult weeds such as *Fumaria capreolata*, *Polygonum* spp. and other difficult weeds. However care needs to be taken when using phenoxy herbicides in certain river catchment areas in Scotland that are used for drinking water. The relatively large use of phenoxy herbicides on spring barley has resulted in MCPA and CMPP leaching into water courses during periods of high rainfall after application. Levels higher than EU Water Framework and the Drinking Water Directive thresholds have been recorded in some seasons. It is up to all those involved in the agro-chemical supply trade to ensure that phenoxy herbicides are used sensibly, whether used alone or in tank-mix with sulfonyleureas in spring barley or under sown crops. They need to be used at sensible application rates to control difficult weeds.

References

- ROBERTSON, M.M. and R.C. KIRKWOOD, 1970: The mode of action of foliage-applied translocated herbicides with particular reference to the phenoxy-acid compounds. *Weed Research* **10**, 94-120.
- MARSHALL, R., R. HULL and S.R. MOSS, 2010: Target site resistance to ALS inhibiting herbicides in *Papaver rhoeas* and *Stellaria media* biotypes from the UK. *Weed Research* **50**, 621-630.
- MOSS, S.R. 2004: Herbicide resistant weeds in Europe: the wider implications. *Communications in Agriculture and Applied Biological Sciences*, (Ghent University, Belgium) **69**, 3-11.
- MOSS, S.R., R. MARSHALL, R. HULL and ALARCON-REVERTE, 2011: Current status of herbicide resistance in the United Kingdom. *Aspect of Applied Biology* **106**, 2011.
- SARRI, L.L., J.C. COTTERMAN, W.F. SMITH and M.M. PRIMIANI, 1992: Sulfonyleurea herbicide resistance in common chickweed, perennial ryegrass and Russian thistle. *Pesticide biochemistry and physiology* **42**, 110-118.
- SCOTTISH AGRICULTURE CENSUS, 2013: The Scottish Government. <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2013/10/5891>
- WATSON, J., J. HUGHES, L. THOMAS and J. WARDLAW, 2012: Pesticide Usage in Scotland, Arable, Crops Scottish Agricultural Science Agency, (SASA), 14-15.

Spatial and temporal development of ACCase and ALS resistant Black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations in neighboring fields in Germany

Räumliche und Zeitliche Ausbreitung ACCase und ALS resistenter Ackerfuchsschwanzpopulationen in benachbarten Feldern Deutschlands

Johannes Herrmann^{1,2*}, Martin Hess³, Thomas Schubel¹, Harry Streck¹, Otto Richter² and Roland Beffa¹

¹Bayer CropScience AG Industriepark Höchst, H872, D-65926 Frankfurt am Main, Germany;

²Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie, Langer Kamp 19c, D-38106 Braunschweig, Germany

³Buchenweg 83, 55128 Mainz

*Corresponding author, Johannes.Herrmann@tu-bs.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.034

Abstract

The repetitive use of herbicides of a given mode of action as primary tools to control weeds in simplified cropping systems has led to the development of resistant populations.

This study reports preliminary results of the infestation level and the herbicide resistance structure of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in circa 40 neighboring fields in each of three locations in Southern Germany during 2010-2012. In each location one field with confirmed field resistance served as a starting point to survey the surrounding fields. Field infestation was assessed at the end of the season where seeds were harvested. Based on greenhouse biotests nearly all tested fields showed resistance to ACCase, but the pattern of ACCase mutations and metabolic resistance to fenoxaprop-ethyl showed differences according to space and time. High resistance to ALS was found in several fields in two locations where ALS-resistance was previously confirmed in a single field only leading to severe crop failure. Interestingly, either Pro197 or Trp574 seemed to dominate in these two locations, while almost no ALS target-site mutations were found in the third location. Target-site mutations appear to be the major mechanism for these early cases of ALS-resistance. A few fields also showed non-target site resistant plants to mesosulfuron-methyl. This unique data set provides new insights into the structure and development of 1) an established resistance (ACCcase-inhibitors) and 2) a developing resistance (ALS-inhibitors). Multivariate analysis including greenhouse biotests data and target-site analyses corresponding to mutations conferring resistance showed that even spatially closely related fields develop different herbicide resistance patterns. This suggests that weed control measures have a major impact within each field and that resistance can evolve independently. In the current situation black-grass infestations can still be controlled in most of the fields. Integrated Weed Management tools can contribute to keep the selection pressure low and slow down resistance development.

Keywords: ACCase inhibitors, ALS inhibitors, blackgrass, enhanced metabolic resistance, Germany, non-target-site resistance, target-site resistance

Zusammenfassung

Der übermäßige Einsatz von Herbiziden mit gleichen Wirkmechanismen zur primären Unkrautkontrolle in intensiven Fruchtfolgen hat zur Entstehung resistenter Unkrautpopulationen geführt.

Diese Arbeit stellt erste Ergebnisse eines dreijährigen Versuches zum Ackerfuchsschwanz-Befall (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und seiner Resistenzstruktur in 3 Regionen Süddeutschlands mit jeweils ca. 40 Feldern vor. Als Ausgangspunkt diente dabei ein Feld mit bekannter Resistenz. Zusätzlich wurden benachbarte Felder beprobt. Die Beprobung und Bestimmung der Befallsintensität wurde jeweils zum Erntezeitpunkt der Kultur vorgenommen. In Gewächshausversuchen konnte in fast allen beprobten Feldern eine ACCase Resistenz in Ackerfuchsschwanz nachgewiesen werden. Das Verhältnis zwischen verschiedenen ACCase-Target-Site Mutationen und metabolischer Resistenz variierte jedoch sowohl in den unterschiedlichen Jahren, sowie zwischen benachbarten Feldern sehr stark. Eine ausgeprägte und agronomisch relevante ALS Resistenz basierend auf den Target-Site Mutationen Pro197 oder Trp574 wurde in einigen Feldern von zwei der drei beprobten Regionen nachgewiesen. In der dritten Region dagegen gab es kaum Pflanzen mit einer ALS Target-Site Resistenz. Target-Site Resistenz scheint daher in diesen frühen Stadien die Hauptursache für ALS-Resistenz zu sein, während einige Proben auch Non Target-Site Resistenz zeigten. Diese Daten geben neue Einblicke in die Struktur und Entwicklung einer 1) etablierten Resistenz (ACCcase-Inhibitoren) und 2) einer sich entwickelnden Resistenz (ALS-Inhibitoren). Multivariate Datenanalyse von Gewächshaus- und Target-site-

Analysen der resistenzbedingenden Mutationen zeigen, dass nahe beieinander liegende Felder unterschiedliche Herbizidresistenzstrukturen ausbilden. Dies legt nahe, dass unterschiedliche Unkrautbekämpfungsstrategien, basierend auf unterschiedlichen Fruchtfolgen unterschiedliche Resistenzstrukturen fördern. Zurzeit ist eine erfolgreiche Ackerfuchsschwanz Bekämpfung mit ALS-Inhibitoren in den meisten Fällen noch möglich, benachbarte Felder zeigen aber das alle Möglichkeiten des integrierten Pflanzenschutzes ausgenutzt werden müssen um den Selektionsdruck niedrig zu halten und die weitere Resistenzentwicklung zu verlangsamen.

Stichwörter: ACCase-Inhibitoren, Acker-Fuchsschwanz, ALS-Inhibitoren, Deutschland, metabolische Resistenz, Nicht-Zielortresistenz, Zielortresistenz

Introduction

Weed control is essential to maintain high crop yields and herbicides are primary tools used to control weeds. However the repetitive use of similar modes of action has led to the development of resistant populations (POWLES and YU, 2010) and herbicide resistance is an increasing and significant problem worldwide (HEAP, 2013). Chemical classes targeting acetolactate synthase (ALS) and acetyl-coenzyme A carboxylase (ACCase) are major herbicides used in European cropping systems in which cereals are key crops (EU, 2013). In the main herbicide resistant monocotyledonous weeds present in cereal fields (*Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, *Bromus* spp., *Lolium* spp.,) mutations of the coding sequences of ALS and ACCase genes have been extensively characterized as well as increased herbicide metabolism (reviewed by POWLES and YU, 2010). Different approaches to address how herbicides resistance is developing in space and time have been reported (MENCHARI *et al.*, 2006; MARSHALL and MOSS, 2008; PETERSEN *et al.*, 2012). However, instead of following on severe resistance cases or large scale monitoring programs we investigate field relationships in a small regional scale in terms of herbicide resistance development (HESS *et al.*, 2012).

Three locations in proximate distance in Southern Germany were investigated on their occurrence of *A. myosuroides* between 2010 and 2012. Field infestation was assessed at the end of the season when seeds were harvested. In addition to observations of the field infestation level, herbicide resistance was characterized by performing greenhouse biotests. Laboratory tests were carried out on greenhouse survivors to analyze whether the resistance type is either target site or enhanced herbicide metabolism. This unique set of data enabled multivariate analysis using more than 10 variables, including greenhouse biotests and target-site mutations corresponding to mutations conferring resistance, to study the pattern of development of herbicide resistance according to space and time.

Material and Methods

In 2010 three locations in Southern Germany (H, M, and Z) where resistances to either ACCase or ALS inhibiting herbicides were first observed were sampled for *A. myosuroides* seeds from a limited number of fields (ca. 40) surrounding these three original fields. The sampling procedure was extended to more fields from different farmers during 2011 and 2012 in all three locations. *A. myosuroides* samples were harvested by walking every second tractor track and monitoring two borders of the field. It was ensured that only one ear per plant was sampled. Rating of infestation was done as described with the following scale: 0= no ears found; 1 = traces of ears from a few solitary, scattered plants in the field or along field borders; 2 = occasional small patches; 3 = large patches; 4 = widespread throughout the field; and 5 = a dense and serious infestation (Hess *et al.*, 2012). Fields having infestation levels of 4 and 5 with each containing >50ears/m² and more than >200ears/m² respectively were considered to cause yield reductions.

Greenhouse biotests were conducted based on the method described by (MENNE and HOGREFE, 2012) with Fenoxaprop-P-ethyl at 166 g ha⁻¹ (Ralon Super[®]) and mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl at, 7.5+1.5, 15+3 to 30+6 g ha⁻¹ (Atlantis WG[®]) as representative ACCase and ALS herbicides respectively. PCR and pyrosequencing procedures used for the mutation analysis were described by BEFFA *et al.* (2012) and 40 plants per field sample were analyzed in average.

Plants surviving the greenhouse treatment with either Atlantis WG® or Ralon Super® but not carrying a target-site mutation were classified as non-target site resistant. Most samples showing resistance in the biotests but no target-site mutations had enhanced metabolism of either mesosulfuron-methyl or fenoxaprop-P-ethyl (BEFFA, personal communication).

Statistical analysis was based on percentage of occurrence of ACCase and ALS target site mutations (SNPs), and percentage of plants that were target-site resistant, non-target site resistant, or sensitive to ACCase or ALS herbicides.

ANOVA and cluster analysis was carried out using the statistics software R. Cluster analysis was done using a Manhattan distance matrix and the ward clustering algorithm for the years 2011 and 2012. The clustering results were compared using the adjusted Rand index (HUBERT and ARABIE, 1985) and a Mantel Test (MANTEL, 1967).

Results

Infestation level with ears of *A. myosuroides* Huds.

The infestation level with blackgrass was significantly different among the three regions ($F_{(2,147)}=3.59, <0.05$) and among the three years ($F_{(2,147)}=4.4, <0.05$) analyzed (Tab. 1). Severe control failure with infestation levels of 4 and 5 were only observed in 2.1%, 11.5% and 5.0% of the fields for 2010, 2011, and 2012, respectively. No blackgrass ears or only traces (infestation levels 0 and 1) were found in 76.8%, 58.3% and 59.9% of all fields analyzed in 2010, 2011, and 2012, respectively, and infestation levels 2 and 3 were found in 21.0%, 30.2%, and 35.1% of the fields in 2010, 2011, and 2012, respectively. This suggests that infestation is still at a tolerable level in the majority of the fields. Results from biotests and laboratory analyses showed that frequencies of fields showing the presence of resistance is higher than the frequency of fields with infestation levels of 4 and 5 (Tab. 1 and Tab. 2). This suggests that these methods can detect herbicide resistance before it causes significant agronomic problems in the fields and provide useful information for weed management.

Tab. 1 Proportion of fields of every site-year with corresponding infestation level (from 0 to 5).

Tab. 1 Prozentuale Verteilung der Befallsgruppierung (0-5) für jede beprobte Region in den drei Versuchsjahren.

Location	Year	0	1	2	3	4	5
H	2010	0.80	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
	2011	0.07	0.47	0.27	0.20	0.00	0.00
	2012	0.14	0.57	0.14	0.07	0.00	0.07
M	2010						
	2011	0.07	0.67	0.07	0.00	0.20	0.00
	2012	0.00	0.47	0.27	0.20	0.00	0.07
Z	2010	0.33	0.33	0.11	0.15	0.04	0.04
	2011	0.15	0.44	0.15	0.11	0.07	0.07
	2012	0.00	0.67	0.22	0.04	0.07	0.00

Tab. 2 Proportional characterization of fields in greenhouse bioassays with S (susceptible >80% efficacy), I (intermediate, 50-79% efficacy), R (resistant, <49% efficacy).

Tab. 2 Prozentuale Gruppierung der analysierten Felder in Gewächshausresistenztests mit S (sensitiv >80 % Wirkung), I (intermediär 50-79 % Wirkung), R (resistent, <49 % Wirkung).

	Atlantis WG			Ralon Super		
	S	I	R	S	I	R
2010	0.74	0.13	0.13	0	0.03	0.97
2011	0.72	0.05	0.23	0	0.06	0.94
2012	0.77	0.09	0.14	0.02	0.04	0.94

Resistance structure and occurrence of resistance conferring mutations

The average portion of plants carrying at least one target site mutation in ACCase ranged from 22.6±8.0% for Region H in 2011 to 48.9±5.2% for Region M in 2011. The portion of plants having a target site mutation in ALS ranged from 0.1±0.1% in region H in 2011 to 37.7±5.9% in Region M in 2011.

Table 3 presents an overview of the distribution of the individual ACCase and ALS target site mutations in the sampled regions with ACCase resistance being well established. The average number of plants per field showing either TSR or NTSR to Ralon Super was 90% in average (77.5%-97.8%) over all regions and years. In contrast, levels of resistance to Atlantis WG were only 24.0% in average (0.1%-52.2%). However, the portion of fields showing target site or non-target site resistance to ALS seemed to increase over the years and resistance was found in a high number of fields at low levels.

Tab. 3 Mean proportion of plants per field (Mean) with corresponding range and portion of fields sampled (Fields) showing either target site or non-target site resistance to ACCase and ALS. Samples were taken from each of three locations in 2010, 2011 and 2012.

Tab. 3 Durchschnittliche Anzahl Pflanzen (Mean) pro Feld mit dazugehörigem Intervall und prozentuaem Anteil der untersuchten Felder für die Zielort- bzw. Nicht-Zielortresistente Pflanzen gegenüber ACCase und ALS-Inhibitoren in den drei beprobten Regionen gefunden wurden. Untersucht wurden die Jahre 2010, 2011 und 2012.

Location	Year	TSR ACCase		TSR ALS		NTSR ACCase		NTSR ALS	
		Mean	Fields	Mean	Fields	Mean	Fields	Mean	Fields
Z	2010	33.6 (5-78)	100	11.6 (0-55)	80	53.7 (12-100)	100	18.8 (0-79)	40
H	2011	22.6 (0-96)	90	0.1 (0-2)	5	75.3 (4-100)	100	0 (0-0)	0
M	2011	48.9 (2-78)	100	37.7 (0-74)	94	45.1 (15-80)	100	14.4 (0-94)	33
Z	2011	44.6 (3-92)	100	14.3 (0-87)	58	49.3 (0-97)	97	8.0 (0-42)	59
H	2012	35.5 (0-100)	89	1.4 (0-74)	21	42.0 (0-94)	93	10.0 (0-55)	86
M	2012	47.7 (12-86)	100	23.5 (0-98)	78	42.3 (0-73)	97	14.8 (0-66)	90
Z	2012	48.5 (4-97)	100	4.2 (0-86)	28	44.5 (0-89)	99	9.1 (0-70)	90

Different mutations seem to be prevalent in the different regions. For ALS we observed mutations at position 547 to be most prevailing in Region M while mutations at position 197 were most prevailing in Region Z. No such conclusion could be drawn for region H due to the very low level of ALS-TSR (data not shown). Mutations in ACCase at position 1781 seemed to be prevailing in Region H, while mutations at position 2078 seem to be prevailing in Region Z. No clear picture

could be drawn for region M, but this region showed the highest percentage of mutations at position 2096 (data not shown).

All five mutations already reported in the literature to confer resistance to ACCase herbicides in *A. myosuroides* were found in all three regions. The median number of unique ACCase mutations per field was found to be 1, 4, and 3, and 3, 3.5 and 3 for Region H, M, and Z in 2010 and 2012, respectively. Only a small number of fields contained all 5 mutations conferring resistance to ACCase. In 2012, 2%, 10%, and 8% of the fields of Region H, M, and Z showed all 5 ACCase mutations, respectively.

Spatial and Temporal Analysis of three different regions for 2011, 2012

Cluster analysis revealed that neighboring fields for a given region are not always clustered together (not shown). This is illustrated by Figure 1 showing the variability within Region Z for the prevalent ACCase mutations within the fields analyzed for 2011 and 2012. Furthermore, the clustering of the data for 2011 and 2012 has a low consistency as indicated by a low adjusted Rand index (0.18) indicating variability in between years. Relationship between neighboring fields was analyzed using Mantel's test to test for correlation between the spatial distance and the distance matrix of the resistance patterns as used in the cluster analysis. The Mantel test showed a weak correlation for 2011 ($r = 0.22, p < 0.01$) and for 2012 ($r = 0.18, p < 0.01$).

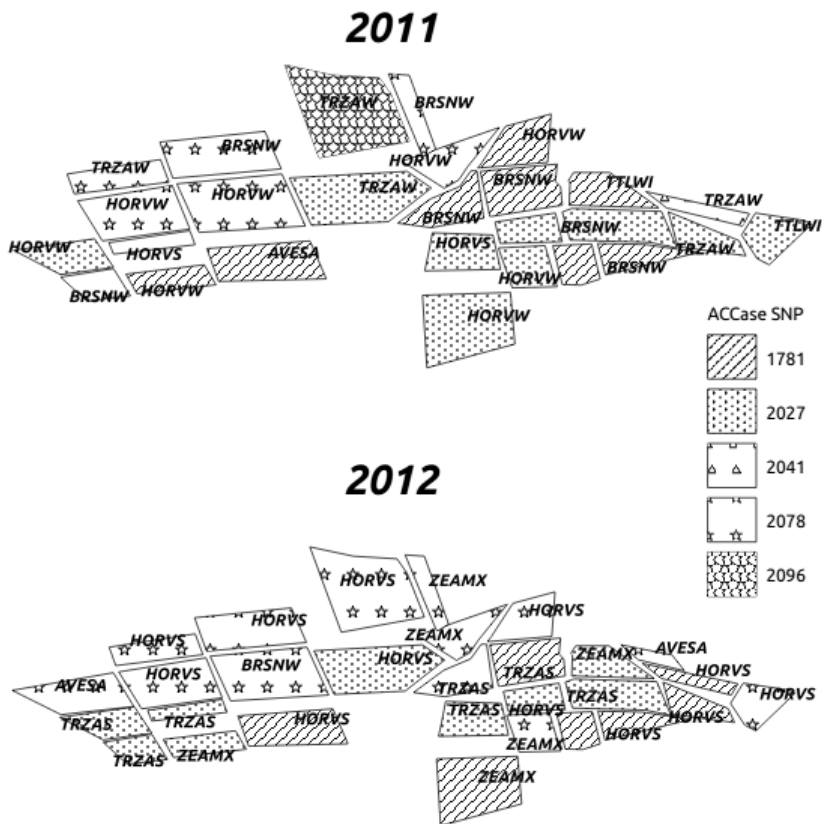


Fig. 1 Prevalent ACCase target-site mutation (SNP) for selected fields of location Z in 2011 (top) and 2012 (bottom). Crop in a given year is abbreviated using EPP0-Code.

Fig. 1 Dominierende ACCase Zielortmutationen ausgewählter Felder der Region Z aus 2011 (oben) und 2012 (unten). Die dazugehörige Kultur in dem jeweiligen Jahr ist mit dem EPP0-Code abgekürzt.

Discussion

Infestation level with ears of *A. myosuroides* Huds.

The degree of infestation was recorded at harvest time and therefore represents the number of surviving or unsprayed plants. An assessment of the infestation severity before spraying in fall and spring was not done. Therefore the presented data reflect the result of the selection process done by the farming activity during years. Furthermore the six-rating scale used is not based on individual plant count and classification, and is open to bias, especially at low densities, since individual plants might have been missed. For a more detailed explanation of the rating and collecting method the reader is referred to Hess *et al.* (2012). Table 1 shows that blackgrass in most of the fields is still at low levels and therefore well controlled. The number of fields with heavy infestation is therefore low and represents individual cases. Resistance confirmation tests in the greenhouse provided a deeper insight of the development in the field by being more sensitive. This comparison between field and greenhouse data over several years will contribute to set up earlier management decisions to prevent resistance from building up and take counteractive measures. Due to the strong winter in 2012 the infestation levels of *A. myosuroides* were decreased due to crop failure over the winter and replanting in spring. This presented a rather unique situation with a more intense blackgrass control than in average years. However, this did not seem to have a big impact on overall blackgrass infestation levels.

Resistance structure and occurrence of resistance conferring mutations

In all sampled regions the problem of ACCase resistance was well established with an average of 90% of the plants showing target site and/or non-target-site resistance (Tab. 3).

A majority of the farmers is aware of that problem. ALS resistance is still at a low level with only a small number of fields where low blackgrass control was observed. However, Table 3 shows that either TSR or NTSR to ALS inhibiting herbicides is present at a low level in the majority of the fields.

This means that farmers need to take counteractive measures now in order to prevent resistance development to ALS inhibitors. In the two regions M and Z single mutations at either position 574 and 197 seem to dominate with a very low number of fields where both are present together. We will need to intensify our research, especially in analyzing the field history, to better understand the basis of this.

Spatial and temporal analysis of three different regions for 2011, 2012

Cluster analysis of the seven analyzed target site mutations together with overall portion of target site and non-target site ACCase and ALS plants revealed that:

1) No strong relation between the distance in between fields and the resistance structure can be observed, meaning that neighboring fields in most cases show a different pattern in their resistance structure which is not necessarily attributed to higher or lower sensitivity to ACCase and ALS herbicides. This is exemplified for ACCase conferring target site mutations in Figure 1. The hypothesis is therefore that resistance in fields evolves differently due to different selection pressure, occurring due to different farming practices, e. g., crops sown. This agrees with earlier findings by MENCHARI *et al.* (2006) and CAVAN *et al.* (1998). Investigation will be undertaken to examine the genetic relationship in between *A. myosuroides* populations to gain insights into the underlying processes.

2) Overall patterns seem to change with different selection pressure, attributed to the different crops sown in consecutive years and the related weed management. Related to ACCase where mutations are not specific to a given location different mutations dominate in a given year. Interviews with the farmers will hopefully contribute to understand the selection process and enable predictions on resistance patterns. Related to ALS, so far Z and M locations were characterized by the prevalence of one given mutation.

These results show the importance of long term observations to be able to draw accurate conclusions on the resistance status within a given region. Resistance patterns seem to be quite

volatile over years. The study is still ongoing but these preliminary results suggest already new insights in the spatial and temporal development of ACCase and ALS resistance. Increasing ALS resistance will lead to a great reduction of available herbicides for use in *A. myosuroides* control. We therefore suggest that all integrated weed management tools are used in combination, in particular crop rotation, rotation of modes of action, soil tillage, as well as use of pre- and post-emergence herbicides.

References

- BEFFA, R. A.FIGGE, L. LORENTZ, M. HESS, B. LABER and J.P. RUIZ-SANTAELLA, 2012: Weed resistance diagnostic technologies to detect herbicide resistance in cerealgrowing areas. A review. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, 75–80.
- CAVAN, G., P. BISS and S.R. MOSS, 1998: Localized origins of herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **38**, 239-245.
- EU, 2013: Short Term Outlook for arable crops, meat and dairy markets in the European Union. Retrieved from http://ec.europa.eu/agriculture/markets-and-prices/short-term-outlook/pdf/2013-09_en.pdf#page=8&zoom=auto,0,174.
- HEAP, I., 2013: www.weedscience.org.
- HESS, M., R. BEFFA, J. KAISER, B. LABER, H. MENNE and H. STREK, 2012: Status and development of ACCase and ALS resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in neighboring fields in Germany. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 163–170.
- HUBERT, L. and P. ARABIE, 1985: Comparing partitions. *J. Classif.* **2**, 193–218.
- MANTEL, N., 1967: The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Res.* **27**(2), 209–220.
- MARSHALL, R. and S. MOSS, 2008: Characterisation and molecular basis of ALS inhibitor resistance in the grass weed *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **48**, 439–447.
- MENCHARI, Y., C. CAMILLERI, S. MICHEL, D. BRUNEL, F. DESSAINT, V. LE CORRE and C. DÉLYE, 2006: Weed response to herbicides : regional-scale distribution of herbicide resistance alleles in the grass weed *Alopecurus myosuroides*. *New Phytol.* **171**, 861–874.
- MENNE, H. and C. HOGREFFE, 2012: Impact of multiple resistance mechanisms in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations on the activity of cereal herbicides. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 65–74.
- PETERSEN, J., G. NARUHN and H. RAFFEL, 2012: Nicht-Zielortresistenzen bei *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti*-Resistenzmuster und Resistenzfaktoren. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 43–50.
- POWLES, S. and Q. YU, 2010: Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Ann. Rev. Plant Biol.* **61**, 317–347.

Resistenzentwicklungen von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) in Niedersachsen 2013 – zunehmend auch gegen Pinoxaden

Development of resistance of Apera spica-venti (L.) P. Beauv. (Loose silky-bent) in Lower Saxony in 2013 - also increasingly against Pinoxaden

Dirk Michael Wolber

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstr. 9, 30453 Hannover
dirk.wolber@lwk-niedersachsen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.035

Zusammenfassung

Weltweit haben Herbizidresistenzen massiv zugenommen, besonders Nord- und Südamerika und Australien sind betroffen. Zunehmend brechen aber auch Wirkstoffgruppen zur Unkrautbekämpfung in Europa weg. Besonders die ACCase-Hemmer (Gruppe A), und Photosynthesehemmer (Gruppe C) und neuerdings auch die Wirkstoffgruppe der ALS-Hemmer (Gruppe B) zeigen ein erhöhtes Resistenzrisiko. Auf fast allen Ackerbaustandorten in Niedersachsen ist Windhalm (*Apera spica-venti*) gegen mindestens eine Wirkstoffgruppe resistent. Eine Resistenz gegen ALS-Hemmer zeigt Windhalm in Niedersachsen bereits seit 2005, vorrangig im Großraum Osnabrück-Hannover-Braunschweig. Seit 2012 wird in Niedersachsen erstmals auch eine TSR-Resistenz gegen Pinoxaden gefunden. Eine effektive Bekämpfung wird bei gleichzeitiger Resistenz gegen ALS- und ACCase-Hemmer sehr schwierig.

Stichwörter: Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung, Windhalm

Abstract

Herbicide resistance has increased dramatically all over the world. Especially North America, South America and Australia are affected. In the last few years also in Europe different active ingredient groups become more and more ineffectively. The risk of resistance is very high for the ACC-ase inhibitors (Group A), the photosynthese- inhibitors (Group C) and by now also for the ALS - inhibitors (Group B). In almost every agricultural region of Lower Saxony the loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*) shows resistance to at least one mode of action. Since 2005 especially in the lower saxonian region between Osnabrück, Hannover and Braunschweig resistance in loose silky-bent grass against the ALS- inhibitors occurs. 2012 target site resistance against Pinoxaden was found for the first time. In the last few years also in Europe different active ingredient groups became more and more ineffectively.

Keywords: Grass weed control, herbicide resistance management, loose silky-bent grass

Einleitung

Das Auftreten von herbizidresistenten Unkräutern ist die Folge eines Selektionsprozesses durch einen häufigen Einsatz von Herbiziden mit demselben Wirkmechanismus bzw. dem gleichen Wirkstoff, meist in reduzierten Aufwandmengen. Dabei werden Biotypen mit einer natürlichen Widerstandsfähigkeit in ihrer Entwicklung begünstigt. Der Anteil resistenter Biotypen in der Population nimmt laufend zu und es entstehen zunehmend Bekämpfungsprobleme. Das bekannteste Beispiel hierzu ist die früher gebräuchliche Behandlung mit Isoproturon (IPU), zumeist in Mischungen mit Diflufenican oder Pendimethalin. IPU hat seine Wirkung aufgrund überregionaler IPU-Resistenz bei Windhalm in Niedersachsen seit Anfang der Jahrtausendwende fast nahezu vollständig eingebüßt. Gründe hierfür sind der fehlende Wirkstoffwechsel und die meist reduzierten Aufwandmengen.

Seit der Jahrtausendwende werden ALS-Hemmer (Gruppe B nach HRAC) sehr breit und intensiv zur Windhalmbekämpfung genutzt, leider werden zunehmend Windhalmpopulationen mit einer Resistenz gegen ALS-Hemmer gefunden (AUGUSTIN, 2010; GEHRING *et al.*, 2010, 2012; SCHRÖDER *et al.*, 2012; WAGNER und WOLBER, 2012). Auch gegen Axial 50 mit dem Wirkstoff Pinoxaden aus der Wirkstoffgruppe der ACCase-Hemmer (Gruppe A nach HRAC) zeigen erste Windhalmpopulationen eine multiple Resistenz (AUGUSTIN, 2010). Eine Target-Site Resistenz konnte aber bisher

ausgeschlossen werden (KRATO und PETERSEN, 2010). Der nachfolgende Beitrag wird die aktuelle Entwicklung zur Herbizidresistenz von Windhalm anhand von Ergebnissen aus Niedersachsen erläutern.

Material und Methoden

Biotest

Bei dem untersuchten Samenmaterial handelt es sich um Verdachtsproben, die aus allen Teilen Niedersachsens stammen. *Apera spica-venti* (APESV) wird auf den leichteren Standorten im Binnenland gesammelt. Zum Nachweis einer vorliegenden Herbizidresistenz wurde ein Biotest im Gewächshaus an intakten Pflanzen unter definierten Temperatur- und Lichtbedingungen durchgeführt.

Tab. 1 Im Resistenztest verwendete Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in the resistance test.*

Mittel	Wirkstoff	Aufwand/ha	Applikations-Termin (BBCH)
Cadou SC	Flufenacet	0,25 l/ha	00
Cadou SC	Flufenacet	0,5 l/ha	00
Boxer	Prosulfocarb	2,0 l/ha	00
Boxer	Prosulfocarb	4,0 l/ha	00
Sumimax	Flumioxazin	60 g/ha	00
Sumimax	Flumioxazin	120 g/ha	00
Axial 50	Pinoxaden	0,9 l/ha	11-12
Axial 50	Pinoxaden	1,8 l/ha	11-12
Focus Ultra + Dash E.C.	Cycloxydim	1,25 l/ha + 1,25 l/ha	11-12
Focus Ultra + Dash E.C.	Cycloxydim	2,5 l/ha + 2,5 l/ha	11-12
Select 240 EC + Para Sommer	Clethodim	1,0 l/ha + 2,0 l/ha	11-12
Select 240 EC + Para Sommer	Clethodim	2,0 l/ha + 4,0 l/ha	11-12
Husar OD + Mero	Iodosulfuron	0,1 l/ha + 1,0 l/ha	11-12
Husar OD + Mero	Iodosulfuron	0,2 l/ha + 2,0 l/ha	11-12
Broadway +Broadway Netzmittel	Pyroxulam Florasulam	130 g/ha + 0,6 l/ha	11-12
Broadway +Broadway Netzmittel	Pyroxulam Florasulam	260 g/ha + 1,2 l/ha	11-12

Die ausgedroschenen und gesiebten Samenproben lagern trocken in Papiertüten, bis sie vor der Aussaat zur Brechung der Dormanz 5 Tage bei -18 °C in der Tiefkühltruhe verbringen. Im Anschluss daran erfolgt unmittelbar die Aussaat der Samenproben in Biotesttöpfe (Jiffy-Rundtöpfe 8 x 8 cm geschlitzt) in 4 Wiederholungen je Versuchsvariante. Die Töpfe (Jiffy-Pots) stehen in Pflanzschalen (40 x 60 cm) deren Boden eine Plastikfolie bedeckt auf der ein Bewässerungsfliß passgenau ausgelegt ist. Bei der Aussaaterde handelt es sich um Standardboden (lehmgiger Sand pH 6,5, Humusgehalt 1,8 %, ca. 300 g incl. Topf, sterilisiert ca. 60 % WK max.). Das zu testende Samenmaterial wird portioniert, in die mit Erde gefüllten Töpfe gestreut und jeweils mit einer 1 cm dicken Schicht fein gesiebter Erde des PSA-Standardbodens bedeckt. Für das weitere Wachstum im Gewächshaus werden die folgenden Parameter eingestellt: Tagphase: 20 °C, 16 h Beleuchtung mit 8000 LUX (180 Watt/m²), Nachtphase: 16 °C, 8 h Dunkelheit. Die Bewässerung geschieht durch bedarfsgerechtes Gießen von unten (Anstau). Der Feuchtigkeitszustand der Töpfe wird täglich kontrolliert.

Die Applikation erfolgt in einer Schachtner Applikationskabine (Wasseraufwandmenge 200 l/ha, ES 90-02, 1,89 bar, Spritzhöhe 40 cm) für die Bodenherbizide im BBCH 0-7 (je nach Herbizid) und die der Blattherbizide im BBCH 11-12. Nach der Herbizidapplikation (21 und 28 Tage) wird gemäß EPPO-Richtlinie PP1/93(3) der Wirkungsgrad bonitiert. Für die Bewertung des Wirkungsgrades werden folgende Grenzwerte zugrunde gelegt: 0-50 % resistente Proben, 50-79,9 % moderat resistente Proben.

Im Biotest sollten möglichst verschiedene Wirkungsmechanismen der Herbizide geprüft werden. Daher richtete sich die Auswahl der Herbizide nach ihrem Wirkungsmechanismus. Behandelt wurde dann mit handelsüblichen Gräserherbiziden in einfacher und doppelter Aufwandmenge.

PCR-Test

Das resistente Pflanzenmaterial des Windhalms (Proben 133, 134, 135, 136, 137 aus dem Biotest in 2012) wurde nach der Behandlung mit Axial 50 geerntet. Nach Trocknung bei Raumtemperatur wurde die DNA der Pflanzen mit einem kommerziell erhältlichen Kit zur DNA Extraktion aufbereitet. Die DNA-Extrakte wurden als Template in einer PCR eingesetzt um die entsprechenden Abschnitte für sieben polymorphe Positionen des ACCase-Gens, nämlich Ile/Leu1781, Trp/Cys1999, Trp/Cys2027, Ile/Val/Asn2041, Asp/Gly2078, Cys/Arg2088 und Gly/Ala2096 zu amplifizieren. In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind beispielhaft Positionen für die Allele Ile1781 und Leu1781 dargestellt.

sensitive Pflanze (Ile1781)	
... AAC - A TA - CAT ...	DNA-Sequenz
... Asn - Ile - His ...	Aminosäure
... 1780 - 1781 - 1782...	Position im Protein ACCase
resistente Pflanze (Leu1781)	
... AAC - C TA - CAT ...	DNA-Sequenz
... Asn - Leu - His ...	Aminosäure
... 1780 - 1781 - 1782...	Position im Protein ACCase

Abb. 1 DNA-Sequenz des ACCase der sensitiven und resistenten Pflanzen an der korrespondierenden Stelle 1781 im Protein und abgeleitete Aminosäuren. Erläuterungen: Asn = Asparagin, Ile = Isoleucin, Leu = Leucin, His = Histidin, erste Zeile: DNA-Sequenz, zweite Zeile: Aminosäuresequenz im Protein, dritte Zeile: Nummer der Aminosäureposition im Protein.

Fig. 1 DNA sequence of ACCase of sensitive and resistant plants at the corresponding site of 1781 in the protein and derived amino acids. Explanation: Asn = asparagine, Ile = isoleucine, Leu = leucine, His = histidine, first row: DNA sequence, second line: Amino acid sequence of the protein, third line : number of amino acid position in the protein.

sensitive Pflanze (Ile2041)		
... GGA - ATT - CTG ...	DNA-Sequenz	
... Gly - Ile - Leu ...	Aminosäure	
... 2040 - 2041 - 2042...	Position im Protein ACCase	
resistente Pflanze (Asn2041)		
... GGA - AAT - CTG ...	DNA-Sequenz	
... Gly - Asn - Leu ...	Aminosäure	
... 2040 - 2041 - 2042...	Position im Protein ACCase	

Abb. 2 DNA-Sequenz der ACCase der sensitiven und resistenten Pflanzen an der korrespondierenden Stelle 2041 im Protein und abgeleitete Aminosäuren. Erläuterungen: Asn = Asparagin, Ile = Isoleucin, Leu = Leucin, His = Histidin, erste Zeile: DNA-Sequenz, zweite Zeile: Aminosäuresequenz des Proteins, dritte Zeile: Nummer der Aminosäurenposition im Protein.

Fig. 2 DNA sequence of ACCase of sensitive and resistant plants at the corresponding site of 2041 in the protein and derived amino acids. Explanation: Asn = asparagine, Ile = Isoleucine, Leu = Leucine, His = Histidine. First line: DNA sequence, second line: Amino acid sequence of protein, third line: numbering of amino acids.

Aus 5 Proben (133, 134, 135, 136, 137) für die im Biotest 2012 bereits eine Resistenz gegen Axial 50 bestätigt wurde, sind je 8 Pflanzen auf das Vorkommen der oben aufgeführten 7 SNPs analysiert worden. In der Tabelle 1 sind beispielhaft die Primer und die PCR-Bedingungen für das Allel Ile/Leu1781 aufgeführt. Für die Amplifikation der PCR-Fragmente, die die genetischen Informationen des Allels Ile/Leu1781 enthalten, wurden die Primer Fwd-Pyr-ACCase1781 und Rev-Pyr-ACCase1781 eingesetzt. Das erwartete Fragment betrug 182 bp. Die PCR wurde in einem Volumen von 25 µl mit einem kommerziellen Master-Mix Kit durchgeführt. Die Konzentration der Primer betrug 0,4 µM (jeweils) und als PCR-Template wurden 3 µl der DNA-Extrakte eingesetzt.

Tab. 2 Primer zur Amplifikation des ACCase-Abschnittes, der die Sequenz für Ile/Leu 1781 und Ile/Asn 2041 enthält.

Tab. 2 Primers for amplification of the ACCase portion that contains the sequence Ile / Leu 1781 and Ile/Asn 2041.

Primer	Sequenz (5'-3')	Annealing-Temp	Länge des PCR-Fragments
Fwd-Pyr-ACCase1781	gcacacaagatgcagctagatagt	53 °C	182 bp
Rev-Pyr-ACCase1781	Tccgattccaacagttcgt		
Fwd-Pyr-ACCase2041	Cccgtgctgggcagttt	55 °C	203 bp
Rev-Pyr-ACCase2041	Aaggcaggctgattgtatgctcta		

Tab. 3 Primer zur Sequenzierung (Pyrosequencing) und Pipettierschema der Nukleotide (Sequence to analyze) im Pyrosequencing-Verfahren.

Tab. 3 Primers for sequencing (pyrosequencing) and pipetting of nucleotides (sequence to analyze) in the pyrosequencing method.

Sequenzier-Primer	Sequenz (5'-3')	Sequence to Analyze
Seq-ACCcase1781	Atggactaggtgtggagaac	htacatggaagtgtctgctattgccag
Seq-ACCcase2041	Gcaaagagatcttttgaagga	rwctctgaggctgggt

Erläuterungen: h= Nukleotid in der Sequenz kann A, C oder T sein

Die Reaktion wurde in einem laborüblichen Thermocycler mit dem folgendem Temperatur-Profil gefahren: Denaturierung bei 94 °C für 5 Minuten, danach 40 Zyklen (Denaturierung: 94 °C, 20 s, Annealing: je nach Primer-Kombination (siehe Tab. 2), 20 s und Elongation bei 72 °C für 20 s). Die PCR-Produkte wurden auf einem Pyrosequencer (PSQ 96MA) analysiert. Für die Sequenzierung

wurde der Primer Seq-ACCCase1781 (Tab. 3) verwendet. Die Analyse der Proben am Pyrosequencer erfolgte nach Anleitung des Geräteherstellers (Biotage).

Ergebnisse

In Niedersachsen werden ALS-Hemmer (Gruppe B nach HRAC) sehr breit und intensiv gegen Windhalm und andere Ungräser eingesetzt. Mittlerweile ist eine sichere Wirkung dieser Wirkstoffgruppe auf zahlreichen Standorten nur noch bedingt möglich (Tab. 4). Verdachtsproben für Windhalm werden im niedersächsischen Pflanzenschutzamt seit 2006 mittels Biotest zur Resistenzneigung gegen Husar OD (Iodosulfuron) untersucht.

Von insgesamt 291 Proben im Zeitraum 2006 bis 2012 wurden 74 Resistenzen nachgewiesen, davon 13 Target-Site-Resistenzen. Eine Verdopplung der Aufwandmenge führte insgesamt nur zu leichten Wirkungsverbesserungen. Broadway (Pyroxulam + Florasulam) wurde seit 2009 im Monitoring aufgenommen und war bis Frühjahr 2011 überregional noch ausreichend wirkungssicher zu bewerten. Die aktuellen Ergebnisse der Resistenzuntersuchungen zeigen aber, dass von 190 Verdachtsproben zunehmende Resistenzen (25 Proben, davon 6 Target-Site Resistenzen) nachgewiesen werden können.

Tab. 4 Resistenztest von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) in Niedersachsen 2012.

Tab. 4 Resistance test of *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Loose silky-bent) in Lower Saxony 2012.

Mittel	Anzahl der untersuchten Verdachtsproben	Auftreten von Resistenzen	Auftreten von TSR-Resistenzen
Cadou SC	131	0	0
Boxer	131	0	0
Sumimax	62	0	0
Axial 50	128	15	2
Focus Ultra + Dash E.C.	62	0	0
Select 240 EC + Para Sommer	94	0	0
Husar OD + Mero	291	74	13
Broadway +Broadway Netzmittel	190	25	6

Axial 50 mit dem Wirkstoff Pinoxaden gehört als alleiniger Vertreter der Wirkstoffgruppe DEN, einer Untergruppe der ACCase-Hemmer, an. In Niedersachsen wurden die ersten Resistenzentwicklungen von Windhalm gegen Axial 50 auf einzelnen Standorten in 2010 festgestellt. Bis 2012 wurden insgesamt 15 metabolische Resistenzen im Biotest nachgewiesen. Seit 2012 wird neben der vorhandenen metabolischen Resistenz in 4 Proben eine Target-Site Resistenz mittels PCR Testung festgestellt. Gegenüber Cadou SC, Boxer, Sumimax, Focus Ultra und Select 240 EC wurden in Niedersachsen bisher noch keine Resistenzen in Windhalm gefunden.

In den Tabellen 5 und 6 sind das Vorkommen der Allele 1781 (A) und 2041 (B) für die insgesamt 40 Blattproben aufgelistet.

Die Target-Site Resistenz mit einem Leu1781 Allel kommt mit einer Frequenz von 0,18 vor und schlüsselt sich in heterozygote und homozygote Pflanzen mit einer Frequenz von 0,1 bzw. 0,08 auf. Die Target-Site Resistenz mit einem Asn2041 Allel ist die dominierende Target-Site Resistenz in der Population mit einer Frequenz von 0,38 und schlüsselt sich in heterozygote und homozygote Pflanzen mit einer Frequenz von 0,28 bzw. 0,10 auf.

Tab. 5 Vorkommen von Ile/Leu 1781.

Tab. 5 Occurrence of Ile / Leu 1781.

Biotyp	Summe analysierter Pflanzen nach Behandlung			
	Genotyp 1781 A/A (sensitiv)	Genotyp 1781 A/T (heterozygot resistent)	Genotyp 1781 T/T (homozygot resistent)	
133	8	8	0	0
134	8	4	2	2
135	8	8	0	0
136	8	8	0	0
137	8	5	2	1
Summe	40	33	4	3
Frequenz		0,83	0,10	0,08

Tab. 6 Vorkommen von Ile/Asn 2041.

Tab. 6 Occurrence von Ile/Asn 2041.

Biotyp	Summe analysierter Pflanzen nach Behandlung			
	Genotyp 2041 T/T (sensitiv)	Genotyp 2041 A/T (heterozygot resistent)	Genotyp 2041 A/A (homozygot resistent)	
133	8	4	1	3
134	8	2	6	0
135	8	8	0	0
136	8	5	2	1
137	8	6	2	0
Summe	40	25	11	4
Frequenz		0,63	0,28	0,10

Diskussion

Die Herbizidresistenz der Windhalmpopulationen entwickelt sich in Niedersachsen zu einem ernsthaften Problem. Neben der bekannten Herbizidresistenz gegen IPU und CTU fällt für eine wirksame Bekämpfung von Windhalm die Wirkstoffgruppe der ALS-Hemmer auch zunehmend aus. Aus Gründen der Resistenzvermeidung ist ein wiederholter Einsatz eines Sulfonylharnstoffs in der Fruchtfolge nicht zu empfehlen. Das Ausweichen auf das Herbizid Axial 50 stellt ebenfalls keine nachhaltige Strategie dar, wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen.

Ein gewünschter Wirkstoffwechsel, als zentrales Element des Herbizidresistenzmanagements, ist mangels Wirkstoffauswahl nur noch bedingt möglich (GEHRING *et al.*, 2012). Ein effektives Resistenzmanagement ist nur dort möglich, wo auch die Wirkung der Herbizide eine nahezu vollständige Bekämpfung der Schadgräser bzw. Unkräuter ermöglicht. Auf Resistenzstandorten ist eine sichere Bekämpfung von Windhalm nur noch mit Wirkstoffen zum Einsatz im Herbst zu empfehlen, wie z. B. Flufenacet (HRAC-Gruppe K3), Flurtamone (HRAC-Gruppe F1), Flumioxazin

(HRAC-Gruppe E) und Prosulfocarb (HRAC-Gruppe N). Grundsätzlich lässt sich die Entwicklung einer Herbizidresistenz nicht mehr durch ein sachgerechtes Wirkstoffmanagement alleine begrenzen, die verstärkte Integration von unterstützenden ackerbaulichen Maßnahmen zur Vermeidung von Herbizidresistenzen ist dringend erforderlich.

Literatur

- AUGUSTIN, B., 2010: Windhalm-Herkunft aus Rheinland-Pfalz mit multipler Herbizidresistenz. *Julius-Kühn-Archiv* **428**, 271-272.
- GEHRING, K., S. THYSSEN und T. FESTNER, 2010: Herbizidresistenz bei *Apera spica-venti* L. in Bayern. *Julius-Kühn-Archiv* **428**, 270-271.
- GEHRING, K., S. THYSSEN und T. FESTNER, 2012: Herbizidresistenz bei *Apera spica-venti* L. in Bayern. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 133-137.
- KRATO, C. und J. PETERSEN, 2010: Situation der Herbizidresistenz bei Ungräsern in Deutschland. *Julius-Kühn-Archiv* **428**, 273.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, R. BALGHEIM, E. BERGMANN und K. GÖSSNER, 2012: Effektive Kontrolle von Windhalm (*Apera spica-venti* (L.) P.B.) in Wintergetreide durch Nutzung von Herbizidbehandlungen mit hohen Wirkungsgraden – Ergebnisse der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2001-2011. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 301-312.
- WAGNER, J. und D. WOLBER, 2012: Ergebnisse zum Vorkommen von Herbizidresistenz gegen ALS-Inhibitoren und den mittels Pyrosequencing identifizierten Resistenz-Allelen in *Alopecurus myosuroides* Huds. (Ackerfuchsschwanz) und *Apera spica-venti* (L.) Beauv. (Gemeiner Windhalm) in Praxisflächen Niedersachsen. *Julius-Kühn-Archiv* **438**, 319.

Vererbung der Herbizidresistenz gegen ALS-Inhibitoren bei *Tripleurospermum perforatum*

Inheritance of ALS herbicide resistance in Tripleurospermum perforatum

Lena Ulber

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12,
38104 Braunschweig
lena.ulber@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.036

Zusammenfassung

In einem Resistenz-Monitoring, das im Jahr 2011 vom JKI und der Firma EpiGene durchgeführt wurde, wurden Biotypen von *Tripleurospermum perforatum* mit einer Resistenz gegen den Wirkstoff Tribenuron (ALS-Inhibitor) detektiert. Im Rahmen des Monitorings wurden die entsprechenden Biotypen hinsichtlich ihrer Resistenz- und Kreuzresistenzprofile sowie des molekularen Hintergrundes der Resistenz analysiert. Bei der Art *T. perforatum* lagen bisher keine Informationen zu der Vererbung der Resistenzeigenschaften und der Möglichkeit der Verbreitung der Resistenz über Pollentransfer von resistenten zu sensitiven Pflanzen vor. Da es sich bei *Tripleurospermum perforatum* um eine von Insekten bestäubte Art handelt, sollte insbesondere die Übertragung der Resistenzeigenschaften über Pollentransfer untersucht werden.

Mit diesem Ziel wurde im Jahr 2012 ein Halbfreilandversuch durchgeführt. Zehn resistente Pflanzen einer charakterisierten resistenten Population wurden mit jeweils einer Pflanze einer sensitiven Population gekreuzt. Die aus diesen Kreuzungen entstammenden F1-Populationen wurden in Dosis-Wirkungs-Versuchen hinsichtlich ihrer Herbizidsensitivität untersucht und mit der resistenten und sensitiven Ursprungspopulation verglichen.

Stichwörter: Pollentransfer, Resistenz-Monitoring

Abstract

In a resistance survey that was conducted in 2011 by the Julius Kühn-Institut and EpiGene, several biotypes of *Tripleurospermum perforatum* with resistance to the active substance tribenuron (ALS inhibitor) were identified. During this survey, the resistant biotypes were characterised regarding their resistance and cross-resistance pattern as well as the molecular basis of resistance. However, for *Tripleurospermum perforatum* no information was available on the inheritance of the resistance trait and the possibility of a transfer of the resistance trait from resistant to sensitive plants via pollen. As the species *T. perforatum* is known to be insect pollinated, a transfer of the resistance trait via the pollen was assumed.

To test this hypothesis, a semi-field trial was conducted in 2012. Ten randomly chosen plants from a known resistant biotype (R) were pair-crossed to one plant of a susceptible reference population (S) to produce a total of 10 F1 pair crosses. Plants grown from the F1 seeds were then analyzed for their herbicide sensitivity using dose-response trials and the sensitivity of the F1 generation was compared to sensitivity level of the R and S parent biotypes.

Keywords: Pollen transfer, resistance monitoring

Einleitung

Der verstärkte Einsatz von ALS-Inhibitoren gegen dikotyle Unkräuter hat in Deutschland und anderen europäischen Ländern zu der Selektion von herbizidresistenten Populationen von *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) Lainz (Geruchlose Kamille) geführt. In den Jahren 2008 und 2009 wurden in Norddeutschland erstmals Populationen mit einer Resistenz gegen Tribenuron beobachtet (HEAP, 2011). In den folgenden Jahren wurden von Landwirten und Beratern zahlreiche weitere ALS-resistente Populationen, vor allem mit Resistenz gegen Tribenuron, gemeldet.

Die Vererbung der Herbizidresistenz gegen ALS-Inhibitoren wurde in zahlreichen diploiden Unkrautarten untersucht; dabei wurde die Vererbung fast ausschließlich durch dominante oder semi-dominante Allele kontrolliert. Da die Informationen für das ALS-Enzym durch den Zellkern kodiert werden, können resistente Allele über Pollen oder Samen vererbt werden (TRANSEL und

WRIGHT, 2002). Während die Ausbreitung durch Samen (z.B. über Erntemaschinen) auch über weitere Distanzen erfolgen kann, ist die Verbreitung der Resistenzeigenschaften über Pollen von der Art der Bestäubung der Pflanzenart abhängig. Da es sich bei *T. perforatum* um eine durch Insekten bestäubte Art handelt, ist eine Ausbreitung über den Pollen, in Abhängig von der Flugdistanz der bestäubenden Insekten, auch über längere Distanz denkbar. Während die Verbreitung der Herbizidresistenz bei dikotylen Arten über Samen bereits gut dokumentiert ist, liegen kaum Ergebnisse zur Vererbung der Resistenz über Pollentransfer vor. Daher sollte in dieser Arbeit die potentielle Verbreitung der Herbizidresistenz bei *T. perforatum* über Pollentransfer untersucht werden.

Material und Methoden

Herkunft der untersuchten Populationen

In 2011 wurde ein Monitoring zur Resistenz gegen ALS-Inhibitoren bei *T. perforatum* durchgeführt. Dabei wurden von 80 Ackerflächen (Winterweizen, Wintergerste und Winterraps in Deutschland) Samenproben entnommen (ULBER *et al.*, 2012). Von den insgesamt 80 untersuchten Populationen wiesen nach einer Behandlung mit der zugelassenen Aufwandmenge von Tribenuron 8 Populationen (10 %) resistente Pflanzen auf.

Eine dieser acht *T. perforatum*-Populationen, die eine besonders hohe Frequenz an resistenten Pflanzen zeigte, wurde für diese Untersuchung verwendet und nachfolgend als R-Population bezeichnet. Die betreffende Population stammte von einem Schlag in Norddeutschland, auf dem eine Minderwirkung des eingesetzten ALS-Inhibitors beobachtet wurde. Die Herbizidhistorie des Schlages zeigte eine jährliche Applikation von ALS-Inhibitoren seit mindestens acht Jahren. Zudem wurde in dieser Untersuchung eine interne sensitive Referenzpopulation (S-Population) verwendet.

Kreuzung der sensitiven und resistenten Population

Die Samen der beiden zu untersuchenden Populationen wurden auf Filterpapier in Petri-Schalen vorgekeimt. Dabei wurde die Anzahl der zu verwendenden Samen an die jeweils vorher determinierte Keimfähigkeit angepasst. Die Petri-Schalen wurden in einem Klimaschrank bei konstant 20 °C mit einer Photoperiode von 16 Stunden für 9 Tage aufgestellt bis die gekeimten Pflanzen eine pikierfähige Größe im Keimblattstadium erreicht hatten. Ein Keimling jeder Population mit einer annähernd gleichen Pflanzengröße wurde jeweils in einen Topf pikiert (zehn Töpfe/Wiederholungen pro Population), der mit einem Standard-Biotest-Boden (50 % Sand, 38 % schluffiger Lehm, 12 % Ton) gefüllt war. Die Töpfe wurden bis kurz vor der Blüte in einem Halb-Freilandareal aufgestellt und regelmäßig bewässert. Vor dem Beginn der Blüte wurden die Pflanzen auf dem JKI-Freilandgelände zufällig platziert aufgestellt, um eine Bestäubung durch Insekten zu ermöglichen. Dabei wurde zur gegenseitigen Bestäubung jeweils eine Pflanze der resistenten Population (R) neben einer Pflanze der sensitiven Referenzpopulation (S) aufgestellt. So ergaben sich zehn aus jeweils einer S- und R-Pflanze bestehende paarweise Kreuzungen. Die Pflanzenpaare wurden mit einem Mindestabstand von 500 m zueinander aufgestellt. Die Samen jeder Pflanze wurden nach vollständiger Samenreife separat geerntet und bei Raumtemperatur getrocknet. So ergaben sich insgesamt 20 F1-Populationen; 10 Populationen, die von der R-Population abstammten (R-F1), und 10 Populationen, die von der sensitiven S-Population abstammten (S-F1).

Bestimmung der Sensitivität der F1-Populationen

Um die Sensitivität der F1-Populationen zu untersuchen, wurden die Samen der 20 F1-Populationen wie oben beschrieben in Petri-Schalen vorgekeimt. Zehn Pflanzen jeder Population wurden in separate Töpfe pikiert und im 3-4-Blattstadium mit dem ALS-Inhibitor Tribenuron-Methyl (Pointer SX, 500 g a.i./kg, DuPont) in der zugelassenen Aufwandmenge von 30 g ai/ha behandelt. Die Pflanzen wurden in einer automatischen Applikationsanlage behandelt (Firma Schachtner), die mit einer Einzeldüse (TeeJet 8002EVS, TeeJet Technologies GmbH, Ludwigsburg,

Germany) ausgestattet war. Dabei wurde das Herbizid mit einer Wasseraufwandmenge von 300 L/ha bei einem Druck von 210 kPa ausgebracht. Die Sensitivität der Pflanzen gegenüber Tribenuron-Methyl wurde 21 Tage nach der Behandlung festgestellt, indem die oberirdische Frischmasse der einzelnen Pflanzen abgeschnitten und gewogen wurde. Statistische Unterschiede zwischen den Populationen wurden anhand des Mann-Whitney-Tests untersucht da keine Normalverteilung der Daten vorlag.

Für jeweils drei R-F1 (R_F1_1 bis R_F1_3) und S-F1 (S_F1_1 bis S_F1_3)-Populationen wurden zudem Dosis-Wirkungs-Experimente mit Tribenuron-Methyl durchgeführt. Dabei wurden die beiden Ursprungspopulationen (S und R) zum statistischen Vergleich mitgeführt. Die Keimung der Samen erfolgte wie oben beschrieben. Jeweils 4 Pflanzen wurden in einen Topf pikiert, wobei für jede Population drei Töpfe als Wiederholungen angelegt wurden. Die Pflanzen wurden im 3-4-Blattstadium mit den folgenden Dosierungen von Tribenuron-Methyl behandelt: 3.75, 7.5, 15, 30, 60, 120, 240, und 480 g ai/ha. Dabei wurde das Herbizid wie oben beschrieben appliziert. Die Sensitivität der Pflanzen gegenüber Tribenuron wurde 21 Tage nach der Behandlung durch die Bestimmung der oberirdischen Pflanzenbiomasse pro Topf festgestellt. Auf Basis der daraus entstehenden Dosis-Wirkungs-Kurven wurden für die einzelnen Populationen ED₅₀-Werte sowie die daraus abgeleiteten Sensitivitätsindices (SI) berechnet. Die Erstellung der Dosis-Wirkungs-Kurven sowie die Berechnung der ED₅₀-Werte erfolgten mit dem Statistikprogramm R.

Ergebnisse

Nach der Applikation der zugelassenen Aufwandmenge von Tribenuron (30 g/ha) zeigte sich bei den S-F1- und R-F1-Populationen eine hohe Variabilität hinsichtlich der Wirksamkeit. Insgesamt war bei den von der resistenten Ursprungspopulation abstammenden Pflanzen (R-F1) eine geringere Wirksamkeit des Tribenurons als bei den von der sensitiven Population abstammenden Pflanzen (S-F1) zu erkennen (Abb. 1). Es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede in der Wirksamkeit von Tribenuron auf die Pflanzen der R-F1- bzw. S-F1-Populationen festgestellt werden ($p = 0.423$). Im Vergleich zu der sensitiven Ursprungspopulation (S) war die Wirksamkeit des applizierten Tribenurons aber sowohl bei den Pflanzen der S-F1- als auch bei denen der R-F1-Population signifikant geringer ($p > 0.005$).

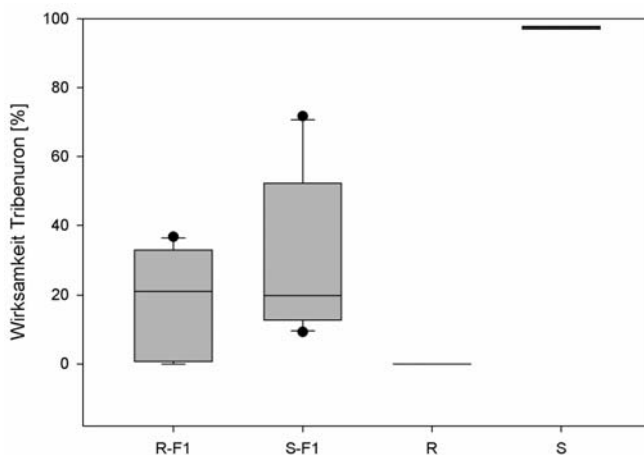


Abb. 1 Wirksamkeit (prozentuale Reduktion der oberirdischen Biomasse im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle) von Tribenuron (30 g ai/ha) bei den F1-Populationen (R-F1 und S-f1) sowie der sensitiven (S) und resistenten (R) Ursprungspopulation 21 Tage nach der Applikation.

Fig. 1 Efficacy (% reduction in leaf biomass compared to untreated control) of tribenuron (30 g ai/ha) on F1 populations (R-F1 and S-f1) as well as sensitive (S) and resistant (R) parent populations 21 days after treatment.

Bei dem Vergleich der Dosis-Wirkungs-Kurven der drei ausgewählten Kreuzungspaare mit den jeweiligen Ursprungspopulationen der S- und R-Populationen zeigte sich, dass sowohl die drei untersuchten S-F1-Populationen als auch die drei R-F1-Populationen eine vergleichbare Sensitivität gegenüber den applizierten Dosierungen aufwiesen. Die S-Ursprungspopulation (S) reagierte dagegen mit deutlich verminderten Frischmassegewichten auf die jeweils verwendeten Aufwandmengen von Tribenuron. Bei der R-Ursprungspopulation dagegen konnte selbst mit einer maximalen 16-fach erhöhten Aufwandmenge keine deutliche Reaktion des Frischmassegewichtes gegenüber der unbehandelten Kontrolle erreicht werden. Daher konnten für diese Population keine ED₅₀-Werte errechnet werden.

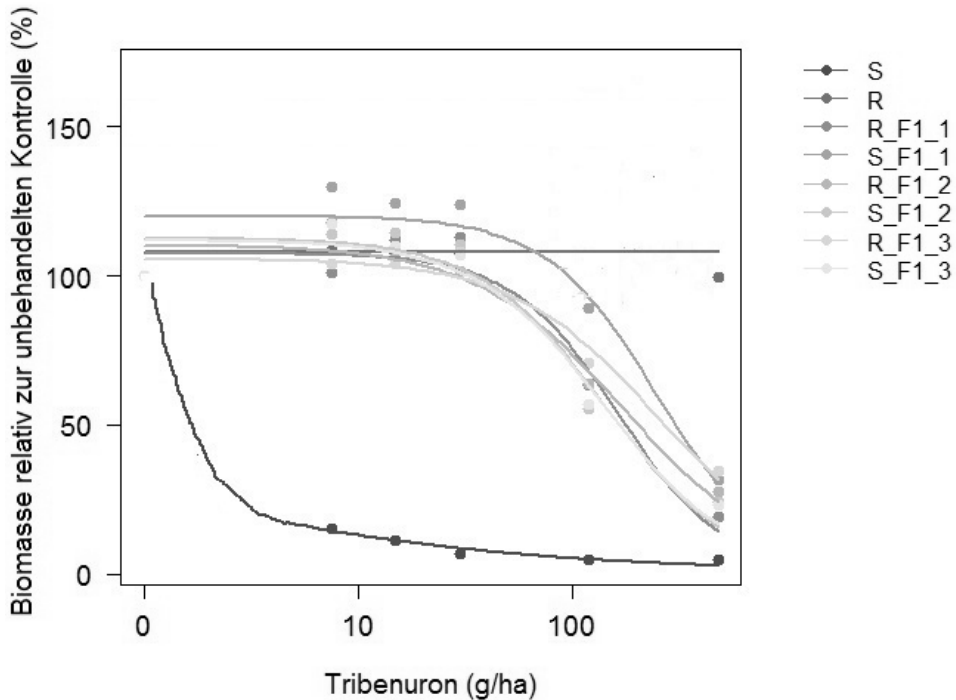


Abb. 2 Dosis-Wirkungs-Kurven der R-F1 (R_F1_1 bis R_F1_3) und S-F1 (S_F1_1 bis S_F1_3)-Populationen sowie der sensitiven (S) und resistenten (R) Ursprungspopulation 21 Tage nach der Applikation mit Tribenuron.

Fig. 2 Dose-response curves of resistant (R_F1_1 to R_F1_3) and sensitive (S_F1_1 to S_F1_3) F1 populations as well as sensitive (S) and resistant (R) parent populations 21 days after treatment with tribenuron.

Die ED₅₀-Werte aller sechs F1-Populationen waren signifikant höher als die der S-Ursprungspopulation (alle $p < 0,005$; Tab. 1). Zwischen den von den sensitiven und resistenten Ursprungspopulationen abstammenden F1-Populationen konnten aber bei allen drei untersuchten Kreuzungspaaren keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Aufgrund des nicht errechenbaren ED₅₀-wertes für die R-Ursprungspopulation konnten bei dieser Population keine signifikanten Unterschiede bezüglich der ED-Werte errechnet werden.

Tab. 1 ED₅₀-Werte, Standardfehler (SE) und Sensitivitätsindices (SI) der untersuchten Populationen nach der Behandlung mit aufsteigenden Dosierungen von Tribenuron.

Tab. 1 ED₅₀ values, standard error (SE) and sensitivity indices of investigated populations after treatment with different dose of tribenuron.

Pop	ED50	SE	SI
R	>480	-	-
R_F1_1	163,92	39,1206	135,19
R_F1_2	174,41	49,6187	143,85
R_F1_3	248,97	72,6232	205,34
S	1,21	0,8346	1
S_F1_1	249,25	54,6484	205,57
S_F1_2	142,23	35,4895	117,30
S_F1_3	142,53	36,0489	117,55

Basierend auf den ED₅₀-Werten zeigten die F1- Populationen im Vergleich zu der sensitiven Ursprungspopulation eine um 117 - 205fach erhöhte Toleranz gegenüber Tribenuron.

Diskussion

Nach der Applikation der vollen zugelassenen Aufwandmenge von Tribenuron zeigten die von der sensitiven Ursprungspopulation (S) abstammenden Pflanzen (S-F1) eine Herbizidreaktion, die deutlich unter der ebenfalls parallel getesteten S-Ursprungspopulation lag (Abb. 1). Daher kann in diesem Fall von einem Transfer der Resistenzeigenschaften von den R- auf die S-Pflanzen während der Kreuzung der Pflanzen ausgegangen werden, der sich auf die Sensitivität der Folgegeneration auswirkte. Die Target-Site-Resistenz gegen ALS-Inhibitoren wird in den meisten Fällen durch ein einzelnes dominantes oder semi-dominantes Allel vererbt, sodass die Resistenzeigenschaft auf die nachfolgende Generation übertragen werden kann (IMAIZUMI *et al.*, 2008). Auch bei der hier verwendeten resistenten Population (R) konnte eine einzelne Mutation an der Position Pro-197-Gln nachgewiesen werden (FELSENSTEIN, Daten nicht veröffentlicht), sodass von einer dominanten bzw. semi-dominanten Vererbung ausgegangen werden kann. Allerdings wurde bei den R-F1-Populationen die Frischmasse durch die Applikation von Tribenuron ebenfalls deutlicher vermindert als bei der R-Ursprungspopulation. So scheint hier die Sensitivität der Nachfolgegeneration gegenüber der Ursprungspopulation erhöht worden sein. Dies widerspricht einem ausschließlich dominanten Vererbungsweg und würde eher auf eine semi-dominante Vererbung hinweisen.

Da es sich bei der Art *T. perforatum* um eine durch Insekten bestäubte Unkrautart handelt (KAY, 1969), kann von einem potentiellen Transfer der Resistenzeigenschaft über den Pollen ausgegangen werden, der zumindest teilweise durch blütenbestäubende Insekten ermöglicht wird. So wurden während der Durchführung des Versuches zahlreiche Bestäuberarten wie Wildbienen und Schwebfliegen an den Floreszenzen der Versuchspflanzen beobachtet. Neben der Übertragung des Pollens durch Insekten kann aber auch eine Übertragung durch Wind nicht ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse zeigen die Ausbreitungsmöglichkeit der Herbizidresistenz bei *T. perforatum* über einen Pollentransfer. Allerdings sind weitere Untersuchungen nötig, um die potentielle maximale Distanz einer Übertragung über Pollen festzustellen. So wurde bei der Art *Lolium rigidum* in Australien ein Pollenflug über eine Distanz von 3 km nachgewiesen (BUSI *et al.*, 2008). Bei insektenbestäubten Pflanzenarten kann aber auch von größeren Übertragungsdistanzen ausgegangen werden (MUTHUKUMAR *et al.*, 2013). Da die Art *T. perforatum* zudem eine hohe Anzahl an Samen aufweist, können sich resistente Individuen in einer Population auch über diesen Fortpflanzungsweg durchsetzen.

Danksagung

Die Autorin bedankt sich bei Carmen Wziontek und Renate Verschwele für die engagierte und sorgfältige Durchführung der Versuche.

Literatur

- BUSI, R., Q. YU, R. BARRETT-LENNARD and S. POWLES, 2008: Long distance pollen-mediated flow of herbicide resistance genes in *Lolium rigidum*. *Theor. Appl. Genet.* **117**, 1281–1290.
- HEAP, I., 2011: International Survey of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org.
- IMAIZUMI, T., G. X. WANG and T. TOMINAGA, 2008: Inheritance of sulfonylurea resistance in *Monochoria vaginalis*. *Weed Res.* **48**(5), 448-454.
- KAY, Q. O. N., 1969: The origin and distribution of diploid and tetraploid *Tripleurospermum inodorum* (L.). *Watsonia* **7**(3), 130-141.
- MUTHUKUMAR V., J. K. NORSWORTHY, R. C. SCOTT and T. L. BARBER, 2013: The Spread of Herbicide-Resistant Weeds: What Should Growers Know? *Agriculture and Natural Resources*. FSA2171.
- TRANEL, P. J. and T. R. WRIGHT, 2002: Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Sci.* **50**, 700-712.
- ULBER, L., E. SVOBODA, B. JASER, F. FELSENSTEIN und P. ZWERGER, 2012: Deutschlandweites Monitoring zur ALS-Resistenz bei Kamille-Arten. *Julius-Kühn-Archiv* **438**, 318-319.

Results from two years of *Matricaria inodora* L. and *Matricaria chamomilla* L. monitoring (2012 + 2013) – greenhouse efficacy trials with Tribenuron and Florasulam and ALS target site resistance test at Pro 197 and Thr 574

Ergebnisse aus zwei Jahren (2012 + 2013) eines Matricaria inodora- und Matricaria chamomilla-Monitoring – Biotest mit Tribenuron und Florasulam und ALS-Target-Site-Analyse an den Stellen Pro 197 und Thr 574

Anke Tiede*, Marcin Dzikowski, Jörg Becker and Arndt Wittrock

Dow AgroSciences GmbH, Truderinger Str. 15, 81677 München, Germany

*Corresponding author, atiede@dow.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.037

Abstract

The first ALS resistant *Matricaria chamomilla* (MATCH) biotype was found in 2006 in Schleswig Holstein in Witzwort (SCHLEICH-SAIDFAR *et al.*, 2011). Since 2006 ALS resistant *Matricaria chamomilla* and *Matricaria inodora* (MATIN) were found at other locations near the North Sea coastline in Schleswig-Holstein and Lower Saxony (ULBER *et al.*, 2012). As there were more and more cases of reduced efficacy of sulfonylureas on mayweed, Dow AgroSciences decided in 2012 and 2013 to test MATCH and MATIN samples in Germany. In 2012 seed samples collected by Dow AgroSciences were planted in greenhouse environment and treated with tribenuron or florasulam. As a second step plants were checked for mutations of the ALS gene at positions Pro 197 and Thr 574 via Pyrosequencing. In Europe there is no known case of metabolic ALS-resistance (ULBER *et al.*, 2012). It was found that mayweed plants showed a mutation at position Pro 197 only. In 2013 leaf samples were taken only and investigated for mutations of ALS position Pro 197 and Thr 574.

Keywords: Dow AgroSciences, Germany, mayweed, resistance

Zusammenfassung

Die erste nachgewiesene ALS-resistente Kamille (*Matricaria chamomilla/recutita*) stammt aus dem Jahr 2006 aus Witzwort in Schleswig-Holstein (SCHLEICH-SAIDFAR *et al.*, 2011). Seit 2006 gab es einige weitere Kamille-Standorte, bei denen eine ALS-Resistenz nachgewiesen wurde (ULBER *et al.*, 2012). Diese befanden sich in erster Linie an der Nordseeküste Schleswig-Holsteins und Niedersachsens. Da sich die ALS-resistente Kamille weiter ausbreitete, wurden 2012 und 2013 im Auftrag von Dow AgroSciences deutschlandweit Kamille-Proben (MATIN und MATCH) gesammelt und untersucht. In 2012 wurden Samenproben gesammelt, die dann im Biotest mit Tribenuron bzw. Florasulam behandelt und danach mit Pyrosequencing an den Stellen Pro 197 und Thr 574 auf Mutationen untersucht wurden. Da bei ALS-Resistenz bei zweikeimblättrigen Unkräutern europaweit keine metabolische Resistenz bekannt ist (ULBER *et al.*, 2012), wurden 2013 deutschlandweit Blattproben gesammelt und an den Stellen Pro 197 und Thr 574 auf Mutation untersucht.

Stichwörter: Deutschland, Dow AgroSciences, Kamille, Resistenz

Introduction

The first ALS resistant *Matricaria chamomilla* (MATCH) biotype was found in 2006 in Schleswig Holstein in Witzwort (SCHLEICH-SAIDFAHR *et al.*, 2011). During the following years ALS resistant MATCH and MATIN plants were found at other locations close to the coastline of the North Sea in Schleswig-Holstein and Lower Saxonia. There were increasing incidents of reduced efficacy of sulfonylurea herbicides on mayweed. A mayweed herbicide resistance monitoring program was carried out by the Julius-Kühn-Institut in 2011 and results were published in 2012 (ULBER *et al.*, 2012).

Due to the fact that florasulam (a triazolopyrimidine herbicide from Dow AgroSciences) always showed full efficacy in greenhouse trials and in the field the intention was to compare the efficacy of triazolopyrimidines and sulfonylureas on ALS target site resistant mayweed species.

Material and Methods

In 2012, 34 *Matricaria* seed samples were randomly collected, i.e. the *Matricaria* samples came from fields without any anticipated ALS resistance. From these collections, 19 seed samples were identified as *Matricaria inodora* and 15 seed samples as *Matricaria chamomilla*. The seed samples were investigated by EpiLogic GmbH for greenhouse efficacy testing and the ALS target site resistance analysis via pyrosequencing at positions Pro 197 and Thr 574. Therefore the DNA from the *Matricaria* leaves were extracted and amplified via PCR.

The greenhouse trials were carried out under the following conditions:

- 5 plants per pot
- the herbicides (40 g/ha Pointer SX or 100 ml/ha Primus) were applied at BBCH 12
- 3 repetitions per pot/variety
- 2 *Matricaria* standards – to compare efficacy- one ALS resistant standard and one susceptible standard
- visual efficacy control after 28 days
- 14 hours day light
- light intensity equals a cloudy day
- temperature at night: 12 °C
- temperature day time: 14 – 18 °C

The target-site resistance analysis was carried out with plants from the greenhouse trials (untreated variety) via PCR and pyrosequencing at Pro 197 and Thr 574. Therefore the DNA from the *Matricaria* leaves were extracted and amplified via PCR.

A mutation of the ALS gene caused reduced efficacy by an ALS inhibitor herbicide (SCHLEICH-SAIDFAR *et al.*, 2011).

In 2013, 70 leaf samples of *Matricaria inodora* and *Matricaria chamomilla* were randomly collected in the fields. Each sample consisted of 1 leaf from each of 8 different plants. The leaves were sent in a paper envelope to IdentXX GmbH. ALS target site resistance analysis was conducted for each leaf per plant at Pro 197 and Thr 574. In total 560 different *Matricaria* plants (70 samples x 8 plants) were analyzed.

Results

Results 2012 – greenhouse trial and target site resistance analysis

In 2012, investigations did not reveal any target site resistance or reduced efficacy of tribenuron and florasulam on *Matricaria inodora*.

However, there were two samples of *Matricaria chamomilla* and *Matricaria recutita* that showed reduced susceptibility to tribenuron at 88% control (sample from Schleswig-Holstein) and 13% efficacy (sample from Nordrhein-Westfalen). In both samples target site resistance at position Pro 179 was detected. The Schleswig-Holstein sample showed a mutation from Pro 197 to Thr 197 with a frequency of 50% of the plants from that location, the sample from Nordrhein-Westfalen had a mutation from Pro 197 to Ser 197 and 71% of the plants from that location were concerned.

There were two samples with mutations at Pro 197 but with no reduced tribenuron or florasulam efficacy. One sample from Sachsen-Anhalt had a frequency of 19% Pro 197 to Ser 197 and one sample from Brandenburg had a frequency of 17% Pro 197 to Ser 197. There was no cross resistance between tribenuron (sulfonylurea) and florasulam (triazolopyrimidin) (Fig. 1 and 2).

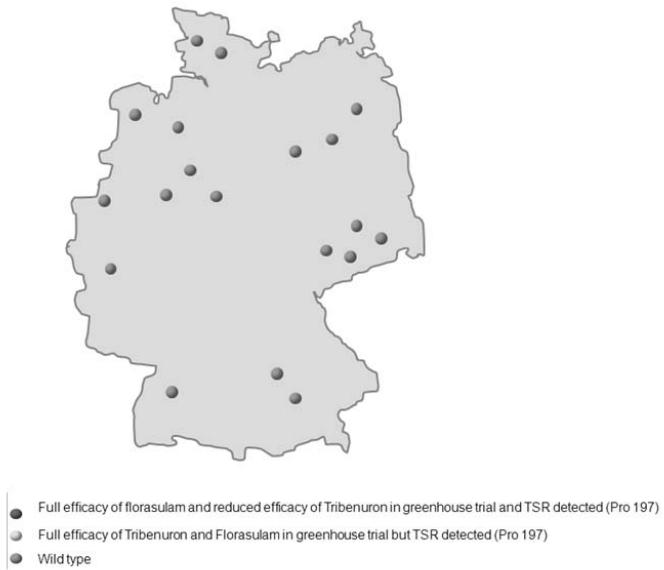


Fig. 1 Seed samples of *Matricaria inodora*.

Abb. 1 Samenproben von *Matricaria inodora*.



Fig. 2 Seed samples of *Matricaria chamomilla*.

Abb. 2 Samenproben von *Matricaria chamomilla*.

Results 2013 – target site analysis

ALS resistant *Matricaria* biotypes were found. From the 70 samples, 52 samples showed no mutation at position Pro 197 and Thr 574. 18 samples showed mutation at Pro 197 (Fig. 3). In addition, 7 out of 18 samples showed a mutation to Thr 197 and 11 samples to Ser 197.



Fig. 3 Results of sampling program 2013.

Abb. 3 Ergebnisse der Probenahme 2013.

Discussion

The results from the 2012 and 2013 sampling program indicated occurrence of ALS resistant *Matricaria* at the North Sea coastline and further south in the region of Hannover – Bielefeld – Dortmund. Not all samples where ALS target site resistance was identified showed reduced tribenuron efficacy. Especially in eastern Germany and Bavaria *Matricaria* samples with mutation at position Pro 197 were found and they were susceptible to tribenuron. As resistance continues to develop in these regions there is an expectation that resistance to tribenuron will increase. The only mutation with *Matricaria* found in 2012 and 2013 was at position Pro 197 of the ALS gene. Cross resistance between florasulam and tribenuron in case of mutation at Pro 197 was not found because greenhouse trials confirmed full florasulam efficacy. Further investigations are needed to determine if the use of clopyralid (in Ariane C and Primus Perfect), an active ingredient belonging to the HRAC class O, can help to prevent development of resistant *Matricaria* in cereal crops.

References

- SCHLEICH-SAIDFAR, C., H.G. DROBNY, J. PEREZ, M. FEIERLER, F.G. FELSENSTEIN, J.R. GERTZ and N. BALGHEIM, 2011: Observations, field trials and analysis of a special population of mayweed (*Matricaria recutita*) with resistance against ALS-inhibitors in Schleswig-Holstein (Germany). *J. Plant Dis. Protect.* **118** (2), 87.
- ULBER, L., E. SVOBODA, B. JASER, F.G. FELSENSTEIN und P. ZWGERGER 2012: Monitoring for ALS resistance in chamomille species in Germany. *Julius-Kühn-Archiv* **438**, 318-319.

Interaktionen von Vor- und Nachauflaufapplikationen auf die Kontrolle von metabolisch resistenten Ackerfuchsschwanzherkünften

Interaction of pre- and post-emergence herbicide treatment on efficacy of different black-grass biotypes with enhanced metabolism

Jan Petersen* und Florian Olf

Fachhochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen

* Korrespondierender Autor, petersen@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.038

Zusammenfassung

In einem Gefäßversuch unter Freilandbedingungen mit unterschiedlichen metabolisch resistenten Ackerfuchsschwanzherkünften wurde die Wirksamkeit von Vorauf- und Nachauflaufapplikationen sowie deren Sequenz in Sommerweizen untersucht. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wurde mit einer sensitiven Ackerfuchsschwanzherkunft verglichen. Die Ergebnisse deuten an, dass es deutliche Interaktionen je nach eingesetzten Herbizid bzw. Ackerfuchsschwanzherkunft geben kann, die es notwendig machen können, standortspezifische Herbizidstrategien zu entwickeln, die Rücksicht auf die jeweilige Resistenzsituation nehmen. Sollten sich diese einjährigen Ergebnisse bestätigen, bedeutet dies, dass zum einen die Resistenzsituation eines zu behandelten Feldes charakterisiert sein muss und ferner die Interaktionen verschiedener Herbizidstrategien so gut bekannt sein müssen, sodass eine standortspezifische optimale Herbizidwahl möglich wird. Nur so kann die Ackerfuchsschwanzpopulation wirksam kontrolliert und eine weitere Resistenzentwicklung auf dem jeweiligen Standort verzögert werden.

Stichwörter: ALS-Hemmer, Flufenacet, Flupyr-sulfuron, Prosulfocarb, Sequenzbehandlungen

Abstract

In an outdoor container trial with different resistant black-grass biotypes with enhanced metabolism, efficacy of pre- and post-emergence treatments as well as their sequence was investigated in spring wheat. Weed control success was compared to a susceptible biotype. Results indicate that there are strong interactions between herbicide and black-grass biotypes. As a consequence site specific herbicide strategies corresponding to current herbicide resistance situation can be necessary. If further trials support these findings then it is essential to characterize the site specific herbicide resistance situation and the potential interactions between different biotypes x herbicides resp. sequences. Only under these circumstances it is possible to optimize the herbicide choice on a specific site. Black-grass control might be optimal than and further speed of resistance evolution might be reduced on that site.

Keywords: ALS-Inhibitors, flufenacet, flupyr-sulfuron, prosulfocarb, sequential treatments

Einleitung

Die Bekämpfung von herbizidresistenten Ackerfuchsschwanzherkünften wird immer schwieriger. Während bei Vorkommen einer Zielortresistenz er durch Wahl einer anderen Wirkstoffgruppe zumeist wieder kontrolliert werden kann, ist dies bei manchen metabolisch bedingten Resistenzen nicht der Fall. Auf derartigen Standorten wird im Getreide zumeist eine Sequenzapplikation einer Vor- und Nachauflaufbehandlung empfohlen. Für die Voraufbehandlung kommen Herbizide mit Wirkung auf die Zellteilung und die Synthese der langkettigen Fettsäuren in Frage. Für eine Nachaufbehandlung werden dann zumeist ACC-ase-Inhibitoren oder ALS-Hemmer eingesetzt. Da es mutmaßlich unterschiedliche, nicht-Zielortresistenzen gibt, die teilweise auch die Wirksamkeit von Voraufherbiziden beeinträchtigen können, stellt sich die Frage, ob es Interaktionen zwischen Biotyp und Sequenzapplikation gibt. Wenn diese existieren, kann dies eine Rückwirkung auf die standortspezifische Herbizidwahl besitzen.

Um diese Interaktion zu untersuchen, wurde unter Halbfreilandbedingungen ein Containerexperiment mit verschiedenen metabolisch resistenten Ackerfuchsschwanzbiotypen durchgeführt. Der Ackerfuchsschwanz in Sommerweizen wurde mit verschiedenen Vor- bzw. Nachauflaufherbiziden sowie deren Sequenzen behandelt.

Material und Methoden

Die 20 l Plastikgefäße (804 cm² Oberfläche) wurden mit gedämpften und gesiebten, sandigen Lehm (Ackerfläche aus Bingen, ~2 % Humus) befüllt. Auf der eingeebneten Bodenoberfläche wurden 25 Sommerweizenkörner (Sorte „SW Kadrij“) ausgelegt. Dies entsprach einer Saatstärke von 400 Körnern/m². Abzüglich eines Gießrandes wurden die oberen 5 cm Boden mit Ackerfuchsschwanzsamen (ca. 600 Samen je Gefäß) jeweils einer Herkunft (Tab. 1) vermischt und auf die Weizenkörner in die Gefäße gegeben. Es wurden 4 verschiedene Ackerfuchsschwanzherkünfte verwendet. Direkt nach der Saat wurden am 9.4.2013 die Voraufflaferherbizidanwendungen (Tab. 2) durchgeführt. Hierfür wurden die Gefäße in eine Schachtner Applikationskabine gestellt und mit 250 l/ha bei 2,5 bar und 2,5 km/h behandelt.

Tab. 1 Herkunft und Charakterisierung der eingesetzten Ackerfuchsschwanzbiotypen.

Tab. 1 *Origin and characterization of used black-grass biotypes.*

Biotyp	Herkunft	Herbizidresistenz (nach Voruntersuchungen)	(nach eigenen
I	Appels Wilde Samen	leichte metabolische Resistenz gegen Fenoxaprop	
II	Peldon (Herbiseed)	multiple metabolische Resistenz	
III	Wischhafen/Elbe (Nie)	multiple metabolische Resistenz inkl. Mesosulfuron	
IV	Mischung aus Bosau (SH) und Gutow (MV) (50 : 50%)	multiple metabolische Resistenz exkl. Mesosulfuron + TSR ACCase Inhibitoren	

Tab. 2 Eingesetzte Herbizide, Aufwandmengen*, Applikationszeitpunkte und Wirkstoffgehalte.

Tab. 2 *Used herbicides, dose rates, application timings and concentration of active ingredients.*

VG	Zeitpunkt	Herbizid	Aufwandmenge	Wirkstoff g/l bzw. kg
1		unbehandelt		
2	VA	Cadou SC	0,5 l/ha	Flufenacet 500 g/l
3	VA	Boxer	5,0 l/ha	Prosulfocarb 800 g/l
4	VA	Lexus	20 g/ha	50% Flupyrsulfuron
5	NA	Atlantis WG	300 g/ha + 0,6 l/ha FHS	30 g/kg Mesosulfuron + 6 g/kg Iodosulfuron
6	NA	Broadway	220 g/ha + 1 l/ha FHS	68,3 g/kg Pyroxulam + 22,8 g/kg Florasulam
7	VA	Cadou SC	0,5 l/ha	
	NA	Atlantis WG	300 g/ha + 0,6 l/ha FHS	
8	VA	Cadou SC	0,5 l/ha	
	NA	Broadway	220 g/ha + 1 l/ha FHS	
9	VA	Boxer	5,0 l/ha	
	NA	Atlantis WG	300 g/ha + 0,6 l/ha FHS	
10	VA	Boxer	5,0 l/ha	
	NA	Broadway	220 g/ha + 1 l/ha FHS	
11	VA	Lexus	20 g/ha	
	NA	Atlantis WG	300 g/ha + 0,6 l/ha FHS	
12	VA	Lexus	20 g/ha	
	NA	Broadway	220 g/ha + 1 l/ha FHS	

* bei Atlantis WG und Broadway reduzierte Aufwandmengen um Verträglichkeit bei Sommerweizen zu verbessern

Die Gefäße wurden dann in einem Vogelschutzkäfig unter Freilandbedingungen in einer randomisierten Blockanlage mit 3 Wiederholungen aufgestellt. In den dafür vorgesehenen Gefäßen wurden die Nachauflaufbehandlung am 2.5.2013 im BBCH-Stadium 11-12 des Ackerfuchsschwanzes durchgeführt. Eine Bewässerung erfolgte nach Bedarf durch Springler. Nach der VA-Applikation erfolgte aufgrund natürlichen Regenfalls am Tag nach der Behandlung (9,8 mm) sowie an den folgenden Tagen keine Zusatzberegnung. 24 Stunden nach der Applikation im BBCH 11-12 fiel kein Niederschlag und eine Beregnung unterblieb ebenfalls.

Jeweils 4 Wochen nach der Behandlung wurde die Ackerfuchsschwanzdichte je Gefäß bestimmt. Am 31.7.2013 wurde der Versuch vor dem Beginn der Ackerfuchsschwanzsamenreife beendet. Die Pflanzen wurden an der Bodenoberfläche abgeschnitten und die Arten nach Weizen und Ackerfuchsschwanz getrennt. Die gesamte Ackerfuchsschwanzbiomasse je Gefäß wurde bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend wurde die Trockenmasse ermittelt.

Zur statistischen Analyse wurden die Dichten und die Trockenmassen auf Basis der jeweiligen Mittelwerte der unbehandelten Kontrollen der 4 Herkünfte normiert. Anschließend erfolgte eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit dem Statistikprogramm SAS Version 9.3 und einem multiplen Mittelwertsvergleich nach Tukey bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Ergebnisse

Die verwendete Methodik führte zu einem zeitlich verzerrten Ackerfuchsschwanzauflauf mit einer maximalen Dichte von ca. 1 Pflanze je cm². Trotz der recht hohen Dichte lag die Wirkung der Cadou SC-Anwendungen im Vorauflauf je Herkunft zwischen 80 und 95% (Abb. 1). Die Wirkung der Vorauflaufvariante Boxer differierte stärker zwischen den Herkünften. Während die sensitive Herkunft (Appels Wilde Samen) noch zu 70% in der Dichte reduziert wurde, war die Wirkung bei den Herkünften Peldon, Wischhafen und der Mischung mit 10 % marginal. Völlig anders stellte sich der Einfluss von Lexus im Vorauflauf dar. Im Vergleich zur Kontrolle waren bei allen Herkünften signifikante Erhöhungen des Ackerfuchsschwanzauflaufes zu beobachten. Mit + 40 % war diese Steigerung bei der sensitive Herkunft am deutlichsten. Allerdings muss hier angemerkt werden, dass nach der Lexus-Behandlung der Ackerfuchsschwanz deutlich geschädigt war, aber 4 Wochen nach der Behandlung die visuelle Wirkungseinschätzung von 50% nicht überschritt.

Die Varianten mit ausschließlicher Nachauflaufbehandlung zeigten eine etwas geringere Wirkung als die alleinige Anwendung von Cadou im Vorauflauf. Die Differenzierung zwischen den Herkünften erfolgte erwartungsgemäß. Während bei Broadway nur die sensitive Herkunft einen hohen Wirkungsgrad bei der Dichte zeigte, konnte Atlantis WG nur die Herkunft Wischhafen nicht ausreichend kontrollieren.

Die Kombination Lexus (VA) und Atlantis WG (NA) zeigte für die Herkünfte Mischung und Peldon signifikant niedrigere Wirkungsgrade im Vergleich zum Soloeinsatz von Atlantis WG, während die Wirkung für die Herkünfte sensitiv und Wischhafen gleich war. In der Kombination Lexus (VA) und Broadway (NA) war die Wirksamkeit bei allen Herkünften ca. 10 % niedriger als bei der alleinigen Anwendung von Broadway.

Aufgrund der guten Anwendungsbedingungen für das Cadou im Vorauflauf brachten die Sequenzapplikationen mit Atlantis WG bzw. Broadway keine Wirkungssteigerungen. Lediglich bei der Herkunft Peldon wurde bei der Sequenz Cadou – Broadway eine signifikante Verschlechterung der Wirkung beobachtet.

Die Applikationsfolge Boxer (VA) und Atlantis bzw. Broadway im Nachauflauf zeigte bei allen Herkünften kaum Differenzierungen zu den jeweiligen alleinigen Nachauflaufanwendungen von Atlantis WG bzw. Broadway. Lediglich die Dichte der sensitive Herkunft konnte bei der Sequenzapplikation von Boxer und Broadway signifikant besser kontrolliert werden als bei der alleinigen Anwendung von Broadway.

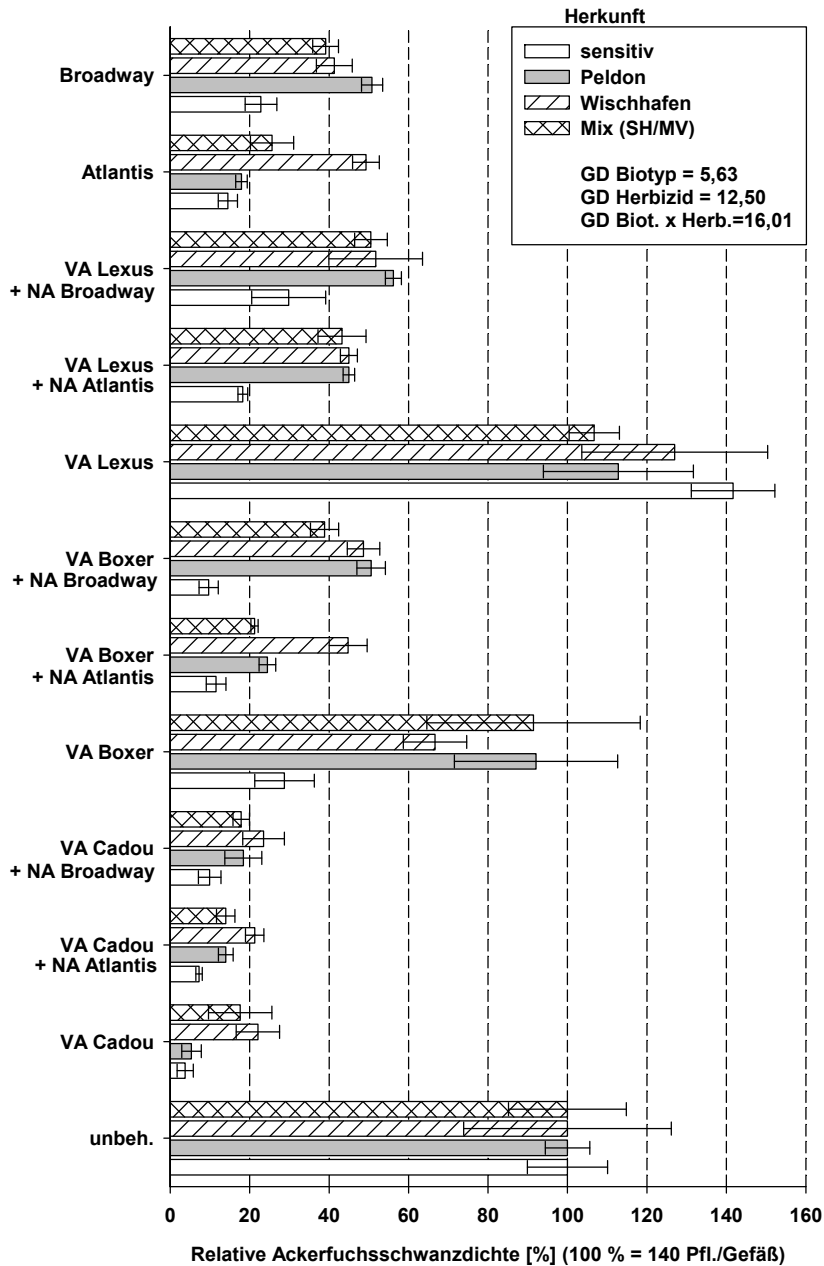


Abb. 1 Einfluss verschiedener Vor- bzw. Nachaufaufherbizidkombinationen auf die Dichte von 4 verschiedenen Ackerfuchsschwanzherkünften 4 Wochen nach der letzten Behandlung in Sommerweizen (Gefäßversuch unter Freilandbedingungen; GD – Grenzdifferenz Tukey 5%; VA-Voraufauf; NA-Nachaufauf).

Fig. 1 Influence of different pre- and post-emergence treatments on density of 4 black-grass biotypes 4 weeks after last treatment in spring wheat (pot trial under outdoor conditions; GD – Least significant difference Tukey 5%; VA-pre-emergence; NA-post-emergence treatment).

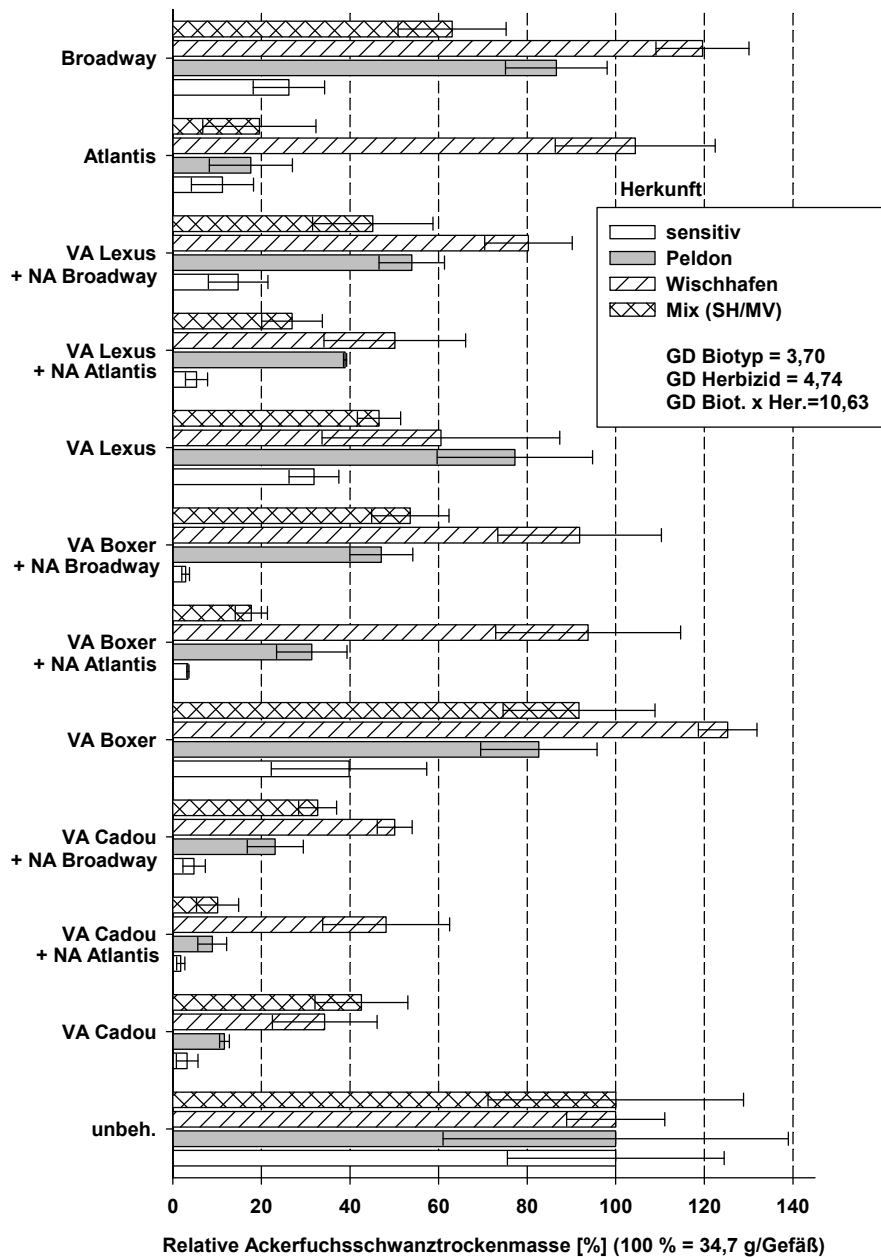


Abb. 2 Einfluss verschiedener Vor- bzw. Nachaufdauerherbizidkombinationen auf die Trockenmasse von 4 verschiedenen Ackerfuchsschwanzherkünften zur Sommerweizenernte (Gefäßversuch unter Freilandbedingungen; GD – Grenzdifferenz Tukey 5 %; VA-Voraufdauer; NA-Nachaufdauer).

Fig. 2 Influence of different pre- and post-emergence treatments on biomass of 4 black-grass biotypes at spring wheat harvest (pot trial under outdoor conditions; GD – Least significant difference Tukey 5 %; VA-pre-emergence; NA-post-emergence treatment).

Die Ergebnisse zur Ackerfuchsschwanzbiomasse (Abb. 2) bestätigen im Wesentlichen die zur Dichte dargelegten Ergebnisse. Das Cadou zeigte die beste Wirkung im Vergleich zu den anderen Voraufdauerherbiziden. Allerdings zeigten sich deutlichere Unterschiede zwischen den Herkünften als beim Parameter Dichte. Die Sequenz Cadou-Atlantis WG verbesserte die Solo Cadou-Anwendung leicht, jedoch mit Ausnahme der Herkunft Wischhafen. Hier war eine signifikant schlechtere Wirkung der Sequenz zu beobachten.

Im Vergleich dazu war die Sequenz Lexus-Atlantis WG besser in der Wirkung bei der Herkunft Wischhafen als der Soloeinsatz von Lexus (VA) bzw. Atlantis WG (NA). Die Wirkung dieser Kombination entsprach etwa der Leistung der Sequenz Cadou-Atlantis WG. Bei den Herkünften Mischung und Peldon war allerdings die Cadou-Atlantis WG-Sequenz deutlich wirkungsstärker. Im Vergleich aller Sequenzbehandlungen fiel die Wirkung von Broadway gegenüber Atlantis WG mit Ausnahme der wirkungsgleichen sensitiven Herkunft geringer aus. Dennoch führten die Sequenzen zu höheren Wirkungen als die jeweiligen Soloeinsätze.

Diskussion

Die Bekämpfung von metabolisch resistenten Ackerfuchsschwanzherkünften wird immer schwieriger. Um bestehende höchst ökonomische Ackerbaukonzepte aufrecht zu erhalten, werden die Herbizidstrategien immer ausgefeilter und aufwendiger. In Problemregionen wird aktuell empfohlen das Saatbett vor der Weizenaussaat zu präparieren, den dann vor der Saat aufgelaufenen Ackerfuchsschwanz mit Glyphosat zu beseitigen und mit möglichst wenig Bodenbearbeitungsintensität den Weizen zu säen. In Anschluss daran soll eine Bodenherbizidmaßnahme gefolgt von einer Nachauflaufenwendung durchgeführt werden, um das Ungras zu bekämpfen (GEHRING *et al.*, 2012). Teilweise werden dann auch noch verschiedene Herbizide in eine Tankmischung gebracht, um die Wirkungssicherheit zu erhöhen. Neben den Aspekten der Kosten, der Umweltrelevanz und der Einflüsse auf die Nachfrucht stellt sich bei diesem Konzept die Frage, ob dies eine nachhaltige Strategie zur Ackerfuchsschwanzkontrolle darstellen kann.

Da gemutmaßt wird, dass nach gewärtigem Stand der Kenntnisse die Ursachen für eine metabolische Resistenz sehr unterschiedlich sein können und bei dem Fremdbefruchter Ackerfuchsschwanz die verschiedensten Resistenzgene in einem Individuum unterschiedlich kombinieren können (PETIT *et al.* 2010), scheint die praktische Konsequenz klar: Es wird Biotypen geben, die nahezu jede Herbizidstrategie überleben können. Die Frage ist nur welche(r) Biotyp(en) herrscht/herrschen auf einem Acker vor, und mit welcher Strategie kann dieser aktuell am bestem kontrolliert werden.

Die dargelegten Ergebnisse deuten an, dass bei jeder der 11 hier angewandten Herbizidstrategien die Biotypen unterschiedlich reagieren und, wenn auch auf unterschiedlichem Niveau, stets überlebende Pflanzen zu finden sind. Dies bedeutet, dass keine Strategie nachhaltig die Resistenzentwicklung aufhalten kann, sondern diese nur verzögert und die Strategie nach relativ kurzer Zeit wieder verändert bzw. angepasst werden muss.

Variation in der Wirksamkeit gegenüber den verschiedenen Biotypen besteht gegenüber allen eingesetzten Herbiziden. Neben den ALS-Inhibitoren betrifft dies auch das Prosulfocarb und das Flufenacet. Diese Variation bestätigen auch Untersuchungen von KLINGENHAGEN (2012). Nun sind Flufenacet-haltige Produkte derzeit die wichtigste und auch wirksamste Maßnahme im Vorauflauf, gerade um metabolisch resistente Ackerfuchsschwanzbiotypen zu bekämpfen. Mittelfristig besteht jedoch die Gefahr, dass diese Effizienz verloren geht. Interessant hierbei sind die im Versuch gemachten Beobachtungen, dass die Individuen, die eine Flufenacetbehandlung überlebten sich auch nicht durch die Nachauflaufbehandlungen kontrollieren ließen. Eine Kreuz- bzw. multiple Resistenz von Flufenacet und den ALS-Inhibitoren (inkl. Atlantis WG) scheint häufig vorzuliegen. Das dennoch gerade diese Sequenz empfohlen wird (z.B. Cadou forte + Atlantis WG) und auch sehr wirksam ist, liegt zumeist daran, dass die Anwendungsbedingungen für die Bodenherbizide und damit deren Wirksamkeit im Freiland meist nicht so optimal sind (trockener

Boden, Keimung aus tieferen Bodenschichten, späte Keimung) wie im vorliegendem Versuch. Sensitive Individuen, die so einer Flufenacetwirkung entgehen, können durch das Atlantis WG im Nachauflauf wirksam kontrolliert werden.

Die entscheidende Frage, die diesem Versuch zu Grunde lag, ob eine Voraufanwendung die Effizienz der Nachauflaufanwendung beeinflussen kann, ist nicht einfach zu beantworten. Generell kann es eine Beeinflussung geben und zwar in beide Richtungen (verbesserte oder verschlechterte Wirkung). Diese ist aber nicht vorrangig von der Herbizidauswahl der Sequenz, sondern von deren Interaktion mit den Ackerfuchsschwanzbiotypen bestimmt. Mit anderen Worten: Was sich auf einem Acker als vorteilhaft für den Bekämpfungserfolg herausstellt, kann sich auf einem anderen Feld sich als nachteilig herausstellen.

Sollten sich diese Ergebnisse in weiteren Versuchen bestätigen, bedeutet dies in der Konsequenz zum einen, dass der Resistenzstatus vom Ackerfuchsschwanz eines Feldes möglichst gut charakterisiert sein sollte und zum anderen, dass die Interaktionen dieses vorrangig vorkommenden Biotyps mit Herbiziden bzw. Herbizidsequenzen bekannt sein sollte, bevor eine Herbizidauswahl für diese Fläche getroffen wird.

Diese gezielte Vorgehensweise steht allerdings vor einigen Herausforderungen, die es in naher Zukunft zu bewältigen gilt. Die Art der vorherrschenden metabolischen Resistenz (und auch Zielortresistenzen) muss mit vertretbarem Aufwand schlagspezifisch charakterisierbar sein und eine Art Datenbank für die Wirksamkeit verschiedenster Herbizide/Herbizidsequenzen/Herbizidmischungen bei den unterschiedlichsten Resistenztypen müsste erarbeitet werden. Schließlich müssten, sofern sich diese Werkzeuge entwickeln lassen, diese auch noch in die Praxis implementiert werden. Bei diesem enormen Aufwand muss einem zudem bewusst sein, dass dies alles keine Lösung der Resistenzprobleme schafft, sondern lediglich Zeit gewonnen wird. In der Hoffnung, dass diese Zeit genutzt wird, um prinzipiell neue Möglichkeiten der Ackerfuchsschwanzkontrolle zu entwickeln, mag diese Strategie sinnvoll sein.

Literatur

- GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT und C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany. Julius-Kühn-Archiv **434**, 89-101.
- KLINGENHAGEN, G., 2012: Comparison of different black-grass populations (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in their susceptibility to herbicides under field conditions. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany. Julius-Kühn-Archiv **434**, 81-87.
- PETIT, C., B. DUHIEU, K. BOUCANSAUD und C. DÉLYE, 2010: Complex genetic control of non-target-site-based resistance to herbicides inhibiting acetyl-coenzyme A carboxylase and acetolactate-synthase in *Alopecurus myosuroides* Huds. *Plant Science* **178** (6), 501-509.

Erstnachweis einer Wirkortresistenz von Tauber Trespe (*Bromus sterilis*) gegenüber ACCase-Hemmern

*First record of target-site-resistance of poverty brome (*Bromus sterilis*) to ACCase inhibitors*

Dominik Dicke^{1*}, Jean Wagner², Eberhard Cramer³ und Manfred Kirchner⁴

¹Regierungspräsidium Gießen, Pflanzenschutzdienst Hessen, Schanzenfeldstraße 8, 35578 Wetzlar,

²Plantalyt GmbH, Vahrenwalder Straße 269A, 30179 Hannover

³Regierungspräsidium Gießen, Pflanzenschutzdienst Hessen, Am Versuchsfeld 17, 34128 Kassel

⁴Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH), Honer Straße 49, 37269 Eschwege

*Korrespondierender Autor, dominik.dicke@rpgi.hessen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.039

Zusammenfassung

In einem Rapsfeld in Ost-Hessen wurden im Jahr 2011 Minderwirkungen von Graminiziden gegenüber Tauber Trespe (*Bromus sterilis*) auffällig. Der Standort wird seit über 25 Jahren nicht wendend bewirtschaftet und wies vor der Herbizidbehandlung eine starke Trespenverungrasung mit mehr als 1000 Pflanzen je m² auf. Sowohl Pflanzen von Tauber Trespe dieser Herkunft als auch eines Standortes in Ostwestfalen mit geringer Ungrasdichte (10 Pflanzen/m²) und ohne Resistenzverdacht wurden in Töpfen angezogen. Die Pflanzen wurden mit verschiedenen Herbiziden unterschiedlicher Wirkstoffklassen jeweils mit der vom Hersteller empfohlenen und der doppelten Aufwandmenge behandelt. Der Zeitpunkt der Applikation orientierte sich an den spezifischen optimalen Einsatzterminen der Herbizide. Die Wirkungsbonitur ergab deutliche Unterschiede in der Bekämpfungsleistung der Herbizide zwischen den Herkünften und den Aufwandmengen. Die Wirkung der Herbizide Agil und Focus Ultra war mit z.T. über 90 % in der ostwestfälischen Herkunft signifikant höher als in der osthessischen Herkunft, wo etwa ein Wirkungsgrad von 20-30 % erreicht wurde. Um dem Verdacht einer Target-Site Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren nachzugehen wurde eine molekulargenetische Analyse von 7 polymorphen Stellen des ACCase-Gens in einzelnen Pflanzen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei der hessischen Trespenpopulation eine Wirkort-Resistenz vorliegt, bei der Isoleucin an der Position 2041 durch Asparagin ersetzt wird (Ile2041-Asn).

Stichwörter: ACCase-Hemmer, Herbizide, Taube Trespe, Wirkortresistenz

Abstract

In 2011 reduced efficacy of grass weed herbicides to poverty brome (*Bromus sterilis*) was observed in oilseed rape on a site in East Hessen. The field was cultivated by using the ploughless tillage system more than 25 years. The site showed high densities of poverty brome (>1000 plants/m²) prior to herbicide treatment. Poverty brome seeds were collected in 2012 in the hessian oilseed rape field and from a site in East Westphalia, where poverty brome appeared at low densities (10 plants/m²) and was not suspected to resistance. The seeds were sown in to pots and plants cultivated. The plants were treated with two application rates (normal dose, double dose) with herbicides of different HRAC-classes. The time of treatment was adjusted to the best expectable treatment/efficiency conditions of the individual herbicides (see chapter 3). Clear differences in efficacy that were caused by herbicide, the origins of poverty brome and the dosages were recorded via visual rating eight weeks after spraying. The herbicides Agil and Focus Ultra were able to control about 90% of the poverty brome plants of the East Westphalia site origin. However, only 20-30% of the Hessian plants could be knocked out by the same herbicides. The ACCase-gene of single poverty brome leaf samples from the hessian site was analyzed after resistance assessment. A molecular genetic analysis on 7 variable positions identified target site resistance: Isoleucine (Ile) was replaced by asparagine (Asn) at position 2041.

Keywords: ACCase inhibitors, Herbicides, Poverty brome, Target site resistance

Einleitung

Seit einigen Jahren nimmt der Ungrasanteil am Gesamtspektrum der Begleitvegetation in den ackerbaulichen Kulturen zu, wie Beobachtungen der amtlichen Schaderregerüberwachung zeigen:

Die Betriebe wachsen an Fläche und nutzen vermehrt zeit- und arbeitssparende Bodenbewirtschaftungsverfahren (KASSAM und FRIEDRICH, 2010). Profis, die aus Gründen des Erosionsschutzes etc. ihren Boden konservierend und nicht wendend bewirtschaften, haben die

systembedingte Gefahr der zunehmenden Verungrasung im Blick und wirken dieser aktiv entgegen. Allgemein liegt der Hauptgrund des Pflugverzichts bei den Landwirten allerdings in der Ersparnis an Arbeit und Zeit (TEBRÜGGE und BÖHRENSEN, 2001). Die Vermutung liegt nahe, dass längst nicht alle Praktiker, die auf den Pflug verzichten, das System auch konsequent durchdrungen haben und durch Fehlen zunehmend Ungrasprobleme auf ihren Feldern heranzüchten. Hinzu kommt, dass im Herbst oft früh mit der Bestellung und Aussaat der Flächen begonnen wird, um überhaupt bis Vegetationsende fertig zu werden. Dadurch keimt der Hauptanteil der Ungräser im bereits gesäten Bestand. Darüber hinaus ist der Anteil der Winterungen in der Fruchtfolge aus wirtschaftlichen Gründen sehr hoch, sodass winterannuelle Ungräser, wie z. B. Ackerfuchsschwanz und Windhalm etc., innerhalb der Fruchtfolge bevorteilt werden. Wenn ackerbauliche Maßnahmen wie oben beschrieben erfolgen, ist die Verungrasung i.d.R. sehr stark und der gesamte Druck der Ungraskontrolle liegt allein auf der chemischen Bekämpfung durch Herbizide. Je höher der Ungrasdruck in den Flächen, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von natürlich vorkommenden resistenten Biotypen. In den letzten drei Dekaden sind bei den Herbiziden keine neuen Wirkstoffgruppen auf den Markt gekommen. Bei der Verwendung immer gleicher Wirkstoffgruppen, sei es durch eingeschränkte Fruchtfolgen, fehlendes Fachwissen, oder bedingt durch den Mangel an Wirkstoffgruppen, werden resistente Pflanzen herausselektiert und vermehren sich. In Hessen liegt der Fokus bei der Ungraskontrolle derzeit schwerpunktmäßig auf der Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz, gefolgt von Windhalm. Seit 2008 wird die Resistenzsituation beim Ackerfuchsschwanz landesweit via Monitoring beobachtet und die Tendenz geht in die Richtung der Zunahme von Biotypen, die gegen ACCase und ALS-Hemmer resistent sind. Ebenso gibt es zunehmend Fälle von Windhalmresistenz gegenüber ALS-Hemmern. Zunehmend rückt jedoch auch die Taube Trespe (*Bromus sterilis*) ins Blickfeld, die besonders auf Standorten mit Minimalbodenbearbeitung beobachtet wird. Auf einem osthessischen Standort, der seit Jahren pfluglos bewirtschaftet wird und eine starke Trespenverungrasung mit über 1000 Pflanzen/m² aufweist, fielen im Jahr 2011 Trespen im Raps auf, die sich mit Herbiziden gegen Ungräser der Wirkstoffklasse A nicht mehr bekämpfen ließen. Der Verdacht auf Resistenz lag nahe und wurde überprüft, was im Folgenden beschrieben wird.

Material und Methoden

Topfversuch

Im Jahr 2012 wurden auf einem Rapsfeld in Osthessen Samen der Tauben Trespe, welche in einem Herbizidversuch die dreifache vom Hersteller empfohlene Aufwandmenge des Herbizides Agil (3,0+3,0 l/ha) überlebt hatten, im Stadium der Totreife geerntet. Ebenso wurden Samen von Tauber Trespe eines ostwestfälischen Standortes geerntet, auf dem erstmalig Trespen auftraten. Die Samen beider Herkünfte wurden am 19.09.2012 getrennt in Töpfen ausgesät. Als Substrat wurde ein Ackerboden der Region um Wetzlar verwendet, der vorher gedämpft worden ist, um die im Boden vorhandenen Unkrautsamen abzutöten. Die Aussaatmenge betrug für jede Herkunft 20 Samen je Topf. Die Samen wurden mit einer dünnen Quarzsandschicht abgedeckt; der Topfinhalt wurde feucht gehalten.

Es wurde ein 6-fach wiederholter Wirksamkeitsversuch angelegt. Getestet wurden 2 Herkünfte, 7 Herbizide sowie 2 Aufwandmengen. Details zum Versuch sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Die Herbizidapplikationen erfolgten mit einer stationären Schachtnerspritze. Nach der Applikation wurden die Töpfe auf Tischen in einem dem Gewächshaus anschließenden Drahtkäfig im Freien platziert. Die Bewässerung erfolgte nach der Herbizidbehandlung „über Kopf“.

Tab. 1 Herbizide und Aufwandmengen des Wirksamkeitsversuches.**Tab. 1** *Herbicides and doses used in the efficacy experiment.*

Herbizide	Aufwandmenge (l, kg/ha) + FHS	
	Jeweils normal	Jeweils doppelt
Kontrolle(1)	0	0
Agil (2)*	1,0 + 1,0	2,0 + 2,0
Focus Ultra (3)*	2,5 + 1,0	5,0 + 2,0
Broadway (4)*	0,275 + 1	0,55 + 2
Atlantis (5)*	0,5 + 1,0	1,0 + 2,0
Attribut (6)*	0,1 + 1,0	0,2 + 2,0
Beflex (7)**	0,5	1
Select (8)*	0,5 + 1,0	1,0 + 2,0

*Behandlungstermin: 23.10.12 (BBCH 12-13); **Behandlungstermin Beflex: 28.09.12 (BBCH 00-09)
 FHS=Formulierungshilfsstoff

Die Wirkungsbonitur erfolgte am 07.01.2013 und der erzielte Wirkungsgrad wurde für jeden Topf nach ABBOTT (1925) berechnet. Basis des jeweiligen Wertes in „Unbehandelt“ war das arithmetische Mittel aus der Anzahl der Pflanzen in den Kontrollen getrennt nach Herkünften.

Alle Daten der Wirkungsbonitur wurden als Blockanlage statistisch mit SAS 9.2 verrechnet. Die Ergebnisse werden unter Gliederungspunkt 3.1 mit Hilfe von Boxplotdiagrammen dargestellt.

Molekulargenetische Analyse

Für die molekulargenetische Analyse wurde Blattmaterial von fünf Trespen der osthessischen Herkunft verwendet, welche die Herbizidapplikation mit ACCase-Hemmern im Topfversuch überlebt hatten. Die molekulargenetische Analyse einer Wirkort-Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren erfolgte in drei Schritten: der DNA-Extraktion aus getrocknetem Blattmaterial, einer PCR zur Amplifikation von Fragmenten der ACCase von *B. sterilis* und der SNP-Analyse von 7 polymorphen Positionen des ACCase-Gens mittels Pyrosequenzierung. Die Analyse erfolgte mit 20 mg getrocknetem Blattmaterial von individuellen Pflanzen, die nach Behandlung und nach Resistenzbewertung geerntet wurden. Aus dem Blattmaterial wurde die DNA mit einem kommerziell erhältlichen Kit präpariert. Mittels PCR wurden dann aus der Gesamt-DNA kurze DNA-Fragmente des ACCase-Gens vervielfältigt, die die Informationen der polymorphen Positionen enthielten. Als Grundlage für das Design von PCR und Pyrosequencing diente das ACCase-Gen von *Bromus secalinus* (NCBI-Eintrag AJ966448.1).

Für die Amplifikation mittels PCR wurden verschiedene Sets von Primer-Paaren eingesetzt. Für die polymorphe Position 2041 wurden die Primer Fwd-Pyr-ACCCase2041_BROSS und Rew-Pyr-ACCCase2041_BROSS eingesetzt (Tab. 2). Das erwartete Fragment war 206 bp lang. Die PCR wurde in einem Volumen von 25 µl mit einem kommerziellen Master-Mix Kit durchgeführt. Die Konzentration der Primer betrug 0,4 µM (jeweils) und als PCR-Template wurden 3 µl der DNA-Extrakte eingesetzt.

Tab. 2 Primer zur Amplifikation des ACCase-Abschnittes mit Sequenz der polymorphen Position Ile/Asn 2041.

Tab. 2 *Primer for amplification of ACCase fragments that contains the sequence for Ile/Asn 2041.*

Primer	Sequenz (5'-3')	Annealing-Temp	Länge des PCR-Fragments
Fwd-Pyr-ACCCase2041_BROSS	TCCTCGTGCTGGCAAGT	54 °C	206 bp
Rew-Pyr-ACCCase2041_BROSS	GTGGGCAAAGACCTTTTGA		

Tab. 3 Primer zur Sequenzierung (Pyrosequencing) und Pipettierschema der Nukleotide (Sequence to analyze) im Pyrosequencingverfahren.

Tab. 3 *Primer for sequencing (Pyrosequencing) and pipetting scheme for nucleotides (sequence to analyze) that is used for pyrosequencing.*

Sequenzier-Primer	Sequenz (5'-3')	Sequence to analyze
Seq-ACCCase2041_BROSS	GCAAAGAGACCTTTTGAAGGA	RWTCTGCAG

Erläuterungen: R= Nukleotid in der Sequenz kann A oder G sein, W= A oder T

Die Reaktion wurde in einem Thermocycler mit dem folgendem Temperatur-Profil gefahren: Denaturierung bei 94 °C für 5 Minuten, danach 40 Zyklen (Denaturierung: 94 °C, 20 s, Annealing: Je nach PCR bzw. Primer-Kombination, für 2041 siehe Tabelle 2, 20 s und Elongation bei 72 °C für 20 s). Die PCR-Produkte wurden auf einem Pyrosequencer (PSQ 96MA) analysiert. Für die Sequenzierung wurde der Primer Seq-ACCCase2041_BROSS (Tab. 3) verwendet.

Das Verfahren für die sechs weiteren polymorphen Positionen war identisch. Für jede polymorphe Position wurden individuelle Primer-Kombinationen eingesetzt (nicht dargestellt). Nach PCR für die Positionen Ile/leu1781, Trp/Cys1999, Trp/Cys2027, Asp/Gly2078, Cys/Arg2088 und Gly/Ala2096 erfolgte eine Analyse mittels Pyrosequencing. Die Analyse der Proben am Pyrosequencer erfolgte nach Anleitung des Geräte-Vertreibers (Qiagen).

Ergebnisse

Ergebnisse des Topfversuches

Die Boxplotdarstellung (Abb. 1) zeigt die Ergebnisse des Topfversuches. Die Wirkungsbilanz ergab deutliche Unterschiede in der Bekämpfungsleistung der Herbizide zwischen den Herkünften und den Aufwandmengen.

Die Wirkungsspanne der Herbizide Atlantis WG und Attribut (40 – 60 % Wirkungsgrad) unterschied sich nicht wesentlich zwischen den Herkünften. Eine Verdopplung der Aufwandmenge führte insgesamt nur zu leichten Wirkungsverbesserungen. Das Präparat Broadway erzielte in der ostwestfälischen Herkunft Wirkungsgrade um 80 %. Die ostthessische Herkunft wurde mit diesem Mittel nur zu 20 % bekämpft. Die Wirkung der Herbizide Agil und Focus Ultra war mit z.T. über 90 % in der ostwestfälischen Herkunft signifikant höher als in der ostthessischen Herkunft, wo etwa ein Wirkungsgrad von 20 – 30 % erreicht wurde. Eine Verdopplung der Aufwandmenge brachte bei Agil keinen Effekt, während diese Maßnahme bei Focus Ultra einen Anstieg von ca. 50 Prozentpunkten auf mehr als 70 % Wirkungsgrad nach sich zog.

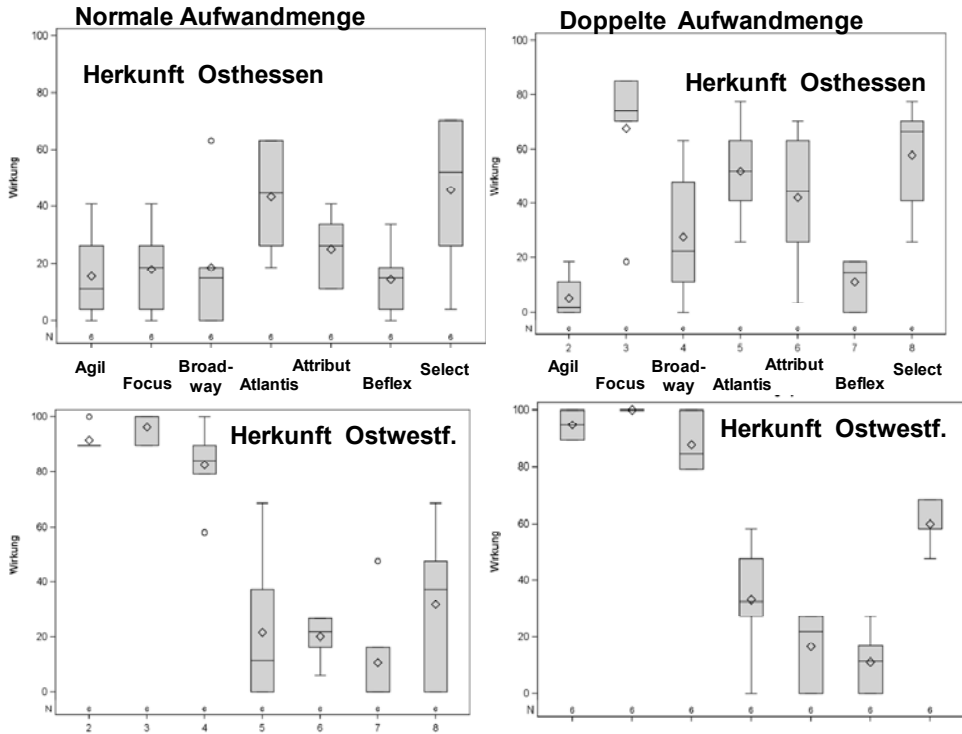


Abb. 1 Wirkung unterschiedlicher Herbizide in zwei Herkünften von Tauber Trespe.

Fig. 1 Efficacy of different herbicides in two origins of poverty brome.

Ergebnisse der molekulargenetischen Analyse

In allen fünf Blattproben zeigten die Positionen Ile/leu1781, Trp/Cys1999, Trp/Cys2027, Asp/Gly2078, Cys/Arg2088 und Gly/Ala2096 die Wild-Typ Allele und damit keine Wirkort-Resistenz an den entsprechenden Positionen. Im Fall von Ile/Asn2041 konnte jedoch in allen 5 Proben das Allel Asn2041 und damit eine Wirkort-Resistenz nachgewiesen werden. In zwei Proben trat diese zusammen mit dem Wild-Typ Allel auf (heterozygote Pflanzen). In den drei übrigen Pflanzen wurde das Allel reinerbig (homozygot) nachgewiesen (Abb. 2).

In den Pyrogrammen aus Abbildung 2 ist das Ergebnis für ein Ile2041 Allel (links) und ein Asn2041 Allel (rechts) im jeweils grau unterlegten Bereich dargestellt. Pyrosequencing ist eine quantitative Technik: Die Höhe des Peaks ist proportional zu der Sequenz. Befinden sich zwei identische Nukleotide hintereinander, steigt der Peak auf die doppelte Höhe eines einfachen Peaks an. Als Referenz dienen die Peaks der Sequenz außerhalb des gelb markierten Bereichs. Der gelb markierte Bereich ist der Bereich, in dem eine Variation erwartet wird, falls eine Wirkort-Resistenz vorliegt.

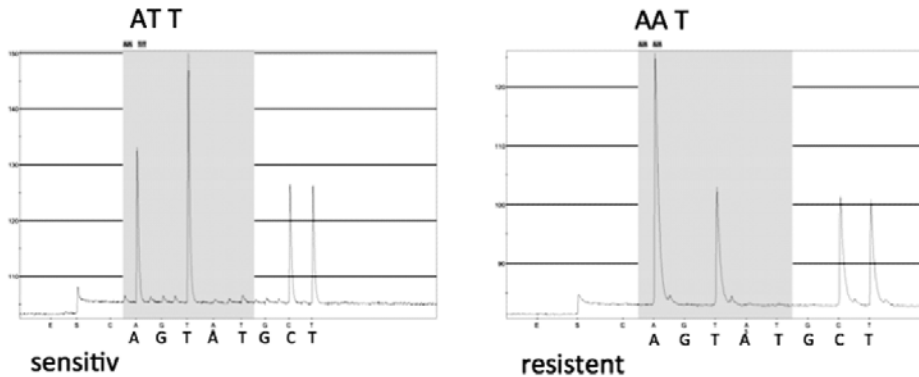


Abb. 2 Pyrogramme von sensitiven und resistenten Pflanzen der Tauben Trespe an der Position 2041 der ACCase.

Fig. 2 Pyrograms of sensitive and resistant plants of poverty brome at position 2041 of ACCase.

In der folgenden Abbildung 3 ist die Position Ile/Asn2041 dargestellt. An der Position 2041 im Protein ACCase führt ein Austausch von Isoleucin (Ile) durch Asparagin (Asn) zu einer Wirkort-Resistenz.

sensitive Pflanze (Ile2041)

... GGA - **ATT** - CTG ... DNA-Sequenz
 ... Gly - **Ile** - Leu ... Aminosäure
 ... 2040 - 2041 - 2042... Position im Protein ACCase

resistente Pflanze (Asn2041)

... GGA - **AAT** - CTG ... DNA-Sequenz
 ... Gly - **Asn** - Leu ... Aminosäure
 ... 2040 - 2041 - 2042... Position im Protein ACCase

Abb. 3 Sequenz des ACCase Allels der sensitiven und resistenten Pflanzen an der korrespondierenden Stelle 2041 im Protein und abgeleitete Aminosäuren. Erläuterungen: Asn= Asparagin, Ile= Isoleucin, Leu= Leucin, His= Histidin, erste Zeile: DNA-Sequenz, zweite Zeile: Aminosäuresequenz im Protein, dritte Zeile: Nummer der Aminosäurenposition im Protein.

Fig. 3 Sequence of ACCase of sensitive and resistant plants at the corresponding site of 1781 in the protein and derived amino acids. Explanation: Asn= asparagine, Ile= Isoleucine, Leu= Leucine, His= Histidine. First line: DNA sequence, second line: Amino acid sequence of protein, third line: numbering of amino acids.

Diskussion

Durch diese Untersuchung konnte weltweit erstmals eine Resistenz von Tauber Trespe gegenüber ACCase-Hemmern nachgewiesen werden. Das Auftreten einer Resistenz in hetero- und homozygoter Form führt bei diploiden Pflanzen wie *Bromus sterilis* zu einem Auftreten von drei verschiedenen Genotypen im Acker: Sensitive, mischerbig (heterozygot) resistente und reinerbig (homozygot) resistente Pflanzen. Die Ausprägung von homo- und heterozygoter Resistenz ist noch wenig erforscht. Bekannt ist, dass die Allele der ACCase co-dominant vererbt werden. Das bedeutet, dass in heterozygoten Pflanzen beide Allele, die des sensitiven Typs und des resistenten Typs, ausgeprägt werden. Eine Wirkort-Resistenz basierend auf einem Asn2041 Allel wurde zum ersten Mal 2003 für Ackerfuchsschwanz (*A. myosuroides*) und Weidelgras (*Lolium rigidum*) beschrieben (DELYE *et al.*, 2003). Sie bewirkt vor allem eine Resistenz gegen ACCase-Hemmer aus

der Gruppe der FOPs (z. B. Clodinafop, Fenoxaprop). Die DIMs (z. B. Cycloxydim, Clethodim) sind weniger stark betroffen bzw. sind die Resistenzgrade sehr gering. Es ist daher anzunehmen, dass vor allem FOPs die Resistenz in diesem Biotyp von Tauber Tresse selektiert haben. Die geringe Wirkung gegen Propaquizafop und die leichtere Minderwirkung gegen Cycloxydim in den Topfversuchen in diesem Beitrag belegen diese Aussage. Allerdings muss noch eine genaue Quantifizierung der Resistenz gegen die verschiedenen Wirkstoffe der ACCase in Dosis-Wirkungs-Studien durchgeführt werden. Ebenfalls ist eine Untersuchung auf ALS-Resistenz in Arbeit.

Die resistenten Pflanzen wurden auf einem Feld gefunden, in dem sich über Jahre durch einen hohen Anteil an Winterungen in der Fruchtfolge in Kombination mit pflugloser Bewirtschaftung viele Trespen ansiedeln konnten. Dadurch war die Wahrscheinlichkeit von natürlich auftretenden resistenten Biotypen von vorne herein erhöht. Dieses Beispiel zeigt eindrucksvoll, wie wichtig es ist, durch die richtigen ackerbaulichen Maßnahmen den Ungrasbesatz niedrig zu halten. LUTMAN et al (2013) berichten, dass durch den Einbau von Sommerungen bzw. den Einsatz des Pfluges die Ungrasdichte im Vergleich zum ausschließlichen Anbau von Winterungen um 88 % bzw. im Vergleich zu nicht wendenden Kultivierungsmethoden um 69 % reduziert werden kann. Die Verschiebung des Saattermins auf den Zeitraum Ende Oktober bis Anfang November kann den Ungrasdruck bis zu 50 % senken. Vor dem Hintergrund der Entwicklungen in England, wo Herbizide gegen Ackerfuchsschwanz kaum bis keine Wirkung mehr zeigen (MOSS et al., 2007), sollte beim Ungrasmanagement daher zukünftig verstärkt ein Schwerpunkt auf die ackerbaulichen Maßnahmen gelegt werden. Ansonsten werden sich Resistenzen von Ungräsern sehr zügig weiter ausbreiten, denn neue chemische Lösungen sind auf absehbare Zeit nicht in Sicht, da die Entwicklung von Herbiziden mit neuen „modes of action“ seit langer Zeit stagniert (LUTMAN et al., 2013).

Literatur

- ABBOTT, W. S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**, 265-267.
- DELYE, C., X.-Q. ZHANG, C. CHALOPIN, S. MICHEL und B. POWLES, 2003: An isoleucine residue within the caboxyl-transferase domain of multidomain acetyl-CoA carboxylase is a major determinant of sensitivity to aryloxyphenoxypropionate but not to cyclohexanedione inhibitors. *Plant Physiology* **132**, 1716-1723.
- KASSAM, A., T. FRIEDRICH und R. DERPSCH, 2010: Conservation Agriculture in the 21st Century: A Paradigm of Sustainable Agriculture. European Congress of Conservation Agriculture, Madrid, October 2010. www.fao.org/ag/ca/CA-Publications/ECAF_congress_Madrid_2010.pdf.
- LUTMAN P. J. W., S.R. MOSS, S. COOK und S. J. WELHAM, 2013: A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **53**, 299-313.
- MOSS S. R., S.A.M. PERRYMAN und L. V. TATNELL, 2007: Managing herbicide-resistant black grass (*Alopecurus myosuroides*): theory and practice. *Weed Technology* **21**, 300-309.
- TEBRÜGGE, F. und A. BÖHRENSSEN, 2001: Farmers' and experts' opinion on no-tillage in West-Europe and Nebraska (USA). In: Garcia Torres, L., L. Benites and A. Martinez Vilela: Conservation agriculture, a worldwide challenge. First World Congress on conservation agriculture, Madrid, Spain, 1-5 October, 2001. Volume 1: keynote contributions 2001, 61-69.

Herbizideinsatz gegen schwer bekämpfbaren, herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.)

*Herbicide treatments for the control of resistant black grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in winter wheat (*Triticum aestivum* L.)*

Klaus Gehring* und Stefan Thyssen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising

* Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.040

Zusammenfassung

In einer Serie von acht Feldversuchen wurden im Zeitraum von 2010 bis 2013 auf Standorten in Nordwesten Bayerns 12 unterschiedliche Behandlungsvarianten zur Bekämpfung von herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*, Huds.) getestet. Die Basis der Anwendungen lag bei dem Einsatz des Herbizides Atlantis (Mesosulfuron + Iodosulfuron + Mefenpyr) in Winterweizen. Neben der Kombination mit weiteren Herbiziden wurden unterschiedliche Anwendungstermine, Behandlungshäufigkeiten, Aufwandmengen und Ergänzungen mit Zusatzstoffen untersucht. Über alle Behandlungen wurde eine Abhängigkeit in der Bekämpfungsleistung von der Acker-Fuchsschwanz-Besatzdichte, von dem Resistenzniveau der einzelnen Population und von dem jeweiligen Anwendungsverfahren nachgewiesen. Im Vergleich der Behandlungsvarianten waren Behandlungsfolgen wirkungssicherer als Einfachbehandlungen. Die Anwendung eines Bodenherbizids im Herbst und die Folgebehandlung mit einer angepassten Atlantis-Aufwandmenge im Frühjahr ermöglichte die sicherste Bekämpfung. Reduzierte Atlantis-Aufwandmengen müssen durch eine Ergänzung mit Zusatzstoffen ausgeglichen werden. Mit der Zunahme des Resistenzniveaus von Acker-Fuchsschwanz wird die Umsetzung eines integrierten Resistenzmanagements für die Gewährleistung einer wirtschaftlichen Winterweizenproduktion unverzichtbar.

Stichwörter: Anwendungsverfahren, Bekämpfungsleistung, Flufenacet, Iodosulfuron, Mesosulfuron, integriertes Resistenzmanagement, Zusatzstoffe

Abstract

Different herbicide treatments were tested in the year 2010 – 2013 at eight locations in the north-west of Bavaria in Franken to control herbicide resistant black grass (*Alopecurus myosuroides*, Huds.). Application of Atlantis (Mesosulfuron + Iodosulfuron + Mefenpyr) was essential for the control of black grass in winter wheat. Combination with other herbicides was also in focus of the trial program as different treatment methods, application timing, application sequences, herbicide rate and the use of adjuvants. As a result of the trials sequence applications were more effective than single applications. The use of soil active herbicides in autumn and spring application of Atlantis was one of the best solutions to control resistant black grass in winter wheat. Reduced rate of Atlantis have to be compensated by addition of appropriate adjuvants. Higher level of resistance depends on implementation of integrated weed management to serve economic wheat production.

Keywords: Adjuvants, efficacy, flufenacet, integrated weed management, iodosulfuron, mesosulfuron-treatment-programm

Einleitung

Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*, Huds.) gehört zu den wichtigsten Leitunggräsern im Ackerbau in Deutschland. Neben dem vorwiegenden Auftreten in Wintergetreide und Winterraps (*Brassica napus*) ist insbesondere auf Standorten mit hohen Besatzdichten Acker-Fuchsschwanz auch in Sommergetreide und Mais (*Zea mays*) ein ernst zu nehmendes Ungras. Durch eine erfolgreiche Bekämpfung wird in Wintergetreide regelmäßig eine Ertragsabsicherung im Bereich von 20 – 40 % des Standortertragspotenzials ermöglicht. Für die wirtschaftliche Produktion von Wintergetreide ist eine wirkungssichere chemische Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz unverzichtbar. Der regelmäßige Herbizideinsatz führt auf zunehmend mehreren Standorten zur Selektion von herbizidresistenten, schwer bekämpfbaren Acker-Fuchsschwanz-Populationen.

Aufgrund der häufig beschränkten Möglichkeiten in der Anpassung von ackerbaulichen Maßnahmen ist der gezielte und intensiverte Herbizideinsatz die primäre produktionstechnische Reaktionsmöglichkeit gegenüber Acker-Fuchsschwanz-Populationen mit nachlassender Sensitivität gegenüber den verfügbaren Herbiziden.

In der Produktionspraxis tritt unter diesen Bedingungen die Frage nach bestmöglichen Behandlungskonzepten auf. Hierzu wurde an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Zusammenarbeit mit den Fachzentren für Pflanzenproduktion ein Versuchsprogramm im Zeitraum von 2010 bis 2013 durchgeführt. Durch die vergleichende Prüfung verschiedener Behandlungsvarianten sollten, für die Kontrolle von schwer bekämpfbaren, herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz, optimierte Herbizidbehandlungen entwickelt werden, um entsprechende Behandlungsempfehlungen für die Fachberatung zur Verfügung zu stellen.

Material und Methoden

In einer Serie von acht Feldversuchen wurden 2010 bis 2013 an den Standorten Ehingen a. Ries (10.560 ö.L., 48.966 n.B.; WSG84), Hattersdorf (10.820 ö.L., 50.188 n.B.; WSG84) und Roth (11.138 ö.L., 50.105 n.B.; WSG84) verschiedene Herbizide (Tab. 1) auf die Bekämpfungsleistung gegen herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz geprüft. Die Präparate wurden in unterschiedlichen Behandlungsvarianten in Form von Herbst- und Frühjahrsbehandlungen sowie als Einfach- und Spritzfolgebehandlungen eingesetzt. Weiterhin wurden die Möglichkeiten der Wirkungsabsicherung durch Splittingapplikation und die Ergänzung mit Zusatzstoffen untersucht (Tab. 2). Die Basis für alle Behandlungsvarianten war das Herbizid Atlantis (Mesosulfuron + Iodosulfuron + Mefenpyr), das als einziges Gräserherbizid im Getreidebau über eine Indikation gegen schwer bekämpfbaren Acker-Fuchsschwanz verfügt. Im ersten Versuchsjahr wurde Atlantis in der OD-Formulierung eingesetzt. Danach stellte sich heraus, dass der Zulassungsinhaber weiterhin nur Atlantis in der WG-Formulierung für den Einsatz gegen schwer bekämpfbaren Acker-Fuchsschwanz anbieten wird. Für die Versuchsjahre 2011 - 2013 erfolgte daher eine Umstellung von Atlantis OD auf Atlantis WG im Verhältnis von 1,5 l Atlantis OD zu 500 g Atlantis WG (Komponente A) + 1,0 l Formulierungshilfsstoff (Komponente B). Für eine bessere Übersichtlichkeit wurden in Tabelle 2 nur die vorwiegenden Anwendungen mit Atlantis in der WG-Formulierung dargestellt.

Die Versuchsstandorte liegen im nordöstlichen (Hattersdorf, Roth) und südwestlichen (Ehingen a. Ries) Gebiet des Boden-Klimaraums Nordwestbayern-Franken. Das Klima zeichnet sich durch eine Jahresmitteltemperatur von 8,7 - 9,2 °C und einen Jahresniederschlag in der Höhe von ca. 600 mm aus. Als Vorfrucht handelte es sich vorwiegend um Winterraps (5 x), neben Silomais (2 x) und Winterweizen (1 x). Die Grundbodenbearbeitung erfolgte am Standort Ehingen ausschließlich flach, nicht-wendend mit der Scheibenegge, während an den Standorten Hattersdorf und Roth in drei Jahren der Pflug eingesetzt wurde und nur im Jahr 2012 eine pfluglose Bearbeitung mit dem Grubber stattfand. Der Boden war in Ehingen a. Ries ein schwerer toniger Lehm und in Hattersdorf bzw. Roth ein lehmiger Ton. Neben einem mittleren bis hohen Besatz mit Acker-Fuchsschwanz (50 bis 550 Pflanzen/m² zum Vegetationsbeginn im Frühjahr) trat eine dikotyle Verunkrautung mit Kletten-Labkraut (*Galium aparine*), Persischer Ehrenpreis (*Veronica persica*), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) und Geruchslose Kamille (*Matricaria inodora*) nur in sehr geringem Umfang auf.

Die Durchführung der Feldversuche erfolgte gemäß EPP0 Richtlinie PP1/93 (3). Die Herbizidbehandlungen wurden mit einer getragenen Pressluftparzellenspritze (Fabrikat Schachtner) mit einer Geschwindigkeit von 3,9 km*h⁻¹, einem Arbeitsdruck von 2,0 bar und einer Wasseraufwandmenge von 300 l*ha⁻¹ mit AirMix® 11003 Luftinjektordüsen ausgebracht. Die Versuche wurden mit der Windows-Software PIAF (ZINK und SCHLÜTER, 1999) geplant, dokumentiert und ausgewertet.

Tab. 1 Eingesetzte Herbizide zur Kontrolle von schwer bekämpfbaren Acker-Fuchsschwanz.

Tab. 1 *Herbicides used in the field trials to treat hart to control black grass.*

Präparat	Wirkstoff, Konzentration (g a.i. *l-1 bzw. kg-1)	HRAC*- Gruppe
Arelon Top	Isoproturon 500	C2
Atlantis OD	Mesosulfuron 10 + Iodosulfuron 2 + Mefenpyr 30	B
Atlantis WG + FHS	Mesosulfuron 30 + Iodosulfuron 6 + Mefenpyr 90	B
Herbaflex	Isoproturon 500 + Beflubutamid 85	C2, F1
Herold SC	Flufenacet 400 + Diflufenican 200	K3, F1
Hoestar Super	Amidosulfuron 125 + Iodosulfuron 11	B
Lexus	Flupyrsulfuron 500	B
Malibu	Pendimethalin 300 + Flufenacet 60	K1, K3
Traxos	Clodinafop 25 + Pinoxaden 25	A
Zusatzstoff, Dünger	Inhaltsstoff	
Mero	Rapsölmethylester	
SSA	Schwefelsaurer Ammoniak	

*) Herbicide Resistance Action Committee

Tab. 2 Behandlungsvarianten zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz.

Tab. 2 *Treatments for control of black grass.*

Var. Nr.	Präparate	Aufwand (l bzw. kg *ha-1)	Termin	BI
1	Herold SC / Atlantis WG + FHS	0,5 / 0,5 + 1,0	NAK / NAF1	1,83
2	Herbaflex + Arelon Top / Atlantis WG + FHS	2,0 + 1,0 / 0,5 + 1,0	NAK / NAF1	2,33
3	Herold SC + Atlantis WG + FHS	0,5 + 0,3 + 0,6	NAH	1,67
4	Herold SC + Atlantis WG + FHS + SSA	0,5 + 0,3 + 0,6 + 10,0	NAH	1,67
5	Atlantis WG + FHS + Hoestar Super	0,5 + 1,0 + 0,15	NAF1	2,00
6	Atlantis WG + FHS + Hoestar Super	0,4 + 0,8 + 0,15	NAF1	1,83
7	Atlantis WG + FHS + Hoestar Super	0,3 + 0,6 + 0,15	NAF1	1,67
8	Atlantis WG + FHS + Hoestar Super + SSA	0,3 + 0,6 + 0,15 + 10,0	NAF1	1,67
9	Atlantis WG + FHS + Hoestar Super + Mero	0,3 + 0,6 + 0,15 + 1,0	NAF1	1,67
10	Atlantis WG + FHS + Hoestar Super + Mero / Atlantis WG + FHS + Hoestar Super + Mero	0,25 + 0,5 + 0,075 + 1,0 / 0,25 + 0,5 + 0,075 + 1,0	NAF1 / NAF2	2,00
11	Herold SC + Traxos + Mero / Atlantis WG + FHS	0,5 + 1,0 + 1,0 / 0,3 + 0,6	NAH / NAF1	2,33
12	Malibu + Lexus / Atlantis WG + FHS	2,5 + 0,02 / 0,3 + 0,6	NAK / NAF1	2,29

Legende: NAK = nach dem Auflaufen im Keimblattstadium von Acker-Fuchsschwanz,
 NAH = nach dem Auflaufen im Herbst, NAF-1 = nach dem Auflaufen im Frühjahr zum
 Vegetationsbeginn, NAF-2 = nach dem Auflaufen im Frühjahr nach Vegetationsbeginn;
 BI = Behandlungsindex = Summe der Standardaufwandmengen in einer Behandlung

Für die Analyse der visuellen Wirkungsbonituren wurden das nichtparametrische Rangfolgetestverfahren Kruskal-Wallis ANOVA mit der Windows Software OriginPro 9.1 verwendet. Eine Beerntung erfolgte nur einmalig im Jahr 2010 am Standort Hattersdorf. Die statistische Analyse der Ertragsdaten wurde mit Hilfe der in PIAF integrierten parametrischen SAS-Routinen vorgenommen.

Zur Abreife des Weizenbestandes wurden aus den unbehandelten Kontrollvarianten Acker-Fuchsschwanz Samenproben für die Bestimmung der Herbizidresistenz der jeweiligen Population entnommen. Die Herbizidresistenz wurde in einem standardisierten Biotest in der Klimakammer bzw. im Gewächshaus mit den derzeit am häufigsten zur Kontrolle von Acker-Fuchsschwanz eingesetzten Herbiziden untersucht (GEHRING *et al.*, 2012). Die Intensität der Herbizidresistenz wurde in einem Schema mit fünf Resistenzklassen bestimmt (CLARKE *et al.*, 1994).

Ergebnisse

Die an den Versuchsstandorten aufgetretenen Acker-Fuchsschwanz Populationen hatten Besatzdichten im niedrigen (50 – 100 Pflanzen/m² zum Vegetationsbeginn), mittleren (>100 - <300 Pflanzen/m²) bis hohen Bereich (> 300 Pflanzen/m²). Im Mittel über alle acht Standorte lag die Besatzdichte bei ca. 230 Pflanzen/m². Die im Versuchsjahr 2010 am Standort Hattersdorf vorgenommene Ertragsfeststellung ergab im Mittel über alle Behandlungsvarianten einen Relativvertrag von 154 % (148 – 162 %) im Verhältnis zur unbehandelten Kontrolle. Ertragsunterschiede zwischen den Behandlungen waren statistisch nicht absicherbar. Alle Behandlungsvarianten hatte eine signifikant höhere Ertragsleistung als die unbehandelte Kontrolle. Über alle Varianten ergab sich hieraus ein bereinigter Mehrerlös von durchschnittlich +278 €/ha. (+217 - +306 €/ha.). Die ökonomische Leistung der Herbizidbehandlungen war signifikant höher als die unbehandelte Kontrolle. Dieses Versuchsergebnis repräsentiert die hohe Wirtschaftlichkeit von effektiven Herbizidbehandlungen gegenüber nur mittleren Besatzdichten (100 Pflanzen/m²) mit Acker-Fuchsschwanz in Winterweizen.

Tab. 3 Ergebnisse der Herbizidresistenz-Untersuchungen.

Tab. 3 Results of the herbicide resistance tests.

Versuchsort	Jahr	HRAC*-Wirkgruppen			
		A	B	C2	K3
Resistenzklassen (von .. bis)					
Ehingen	2010	3 - 5	0 - 2	0 - 2	1
	2011	1 - 4	1 - 2	0 - 1	0
	2012	4 - 5	1 - 2	1	1
	2013	1 - 3	0 - 1	0	0
Hattersdorf	2010	2 - 3	2 - 4	2 - 3	1
	2011	2 - 5	2 - 4	2	0
	2012	3 - 5	3 - 4	0 - 2	0
Roth	2013	1 - 3	0 - 2	0 - 1	0

*) Herbicide Resistance Action Committee

Resistenzklassen 0 – 5 (sensitiv – hoch resistent)

Die Untersuchungen der Herbizidresistenz anhand der Samenproben aus den Acker-Fuchsschwanz Populationen der Versuchsstandorte ergab gegenüber Herbiziden aus der HRAC-

Gruppe K3 für alle Standorte und Versuchsjahr ein sehr niedriges Resistenzniveau (Tab. 3), das noch keine Bedeutung für die Anwendungssicherheit entsprechender Präparate aufweist. Auch das Resistenzniveau für Herbizide der C2-Gruppe lag im Wesentlichen in einem unkritischen Bereich; nur im Jahr 2010 wurde für den Standort Hattersdorf eine bis in den mittleren Bereich reichende Resistenzklasse für diese Wirkmechanismusgruppe festgestellt. Hinsichtlich der Resistenz gegenüber Herbiziden aus der A- und B-Wirkmechanismusgruppe zeigten die Standorte Ehingen a. Ries und Hattersdorf eine unterschiedliche Charakteristik. Der Standort Ehingen a. Ries war durch eine höhere Resistenz gegenüber Herbiziden der A-Gruppen geprägt, während sich der Standort Hattersdorf mehr oder weniger gleich intensiv resistent gegenüber Herbiziden der A- und B-Gruppe zeigte. Am Standort Roth war, wie in Ehingen a. Ries, die Resistenz gegenüber Herbiziden der A-Gruppe etwas stärker ausgeprägt, als gegenüber der B-Wirkmechanismusgruppe. Im Großen und Ganzen entspricht diese Resistenzcharakteristik der typischen Entwicklung in Bayern, indem sich vorrangig eine Resistenz gegenüber dem A-Wirkmechanismus entwickelt, die Resistenzentwicklung gegenüber B-Gruppen-Herbizide nachfolgt und der Prozess von einer unerschwelligen Resistenz gegen den C2-Wirkmechanismus begleitet wird. Die Ergebnisse der Biotest-Untersuchungen legten keinen Verdacht auf eine spezifische Wirkortresistenz nahe, so dass auf molekulargenetische Untersuchungen auf Target-Site-Resistenz verzichtet wurde.

Die in der Versuchsserie festgestellten Bekämpfungsleistungen der verschiedenen Behandlungsvarianten wurde neben der Analyse hinsichtlich der Effizienz der jeweiligen Anwendungen auch in Bezug auf die Wirksamkeit unter unterschiedlichen Resistenzniveaus, gegenüber verschiedenen Acker-Fuchsschwanz-Besatzdichten und für die einzelnen Anwendungsvarianten ausgewertet.

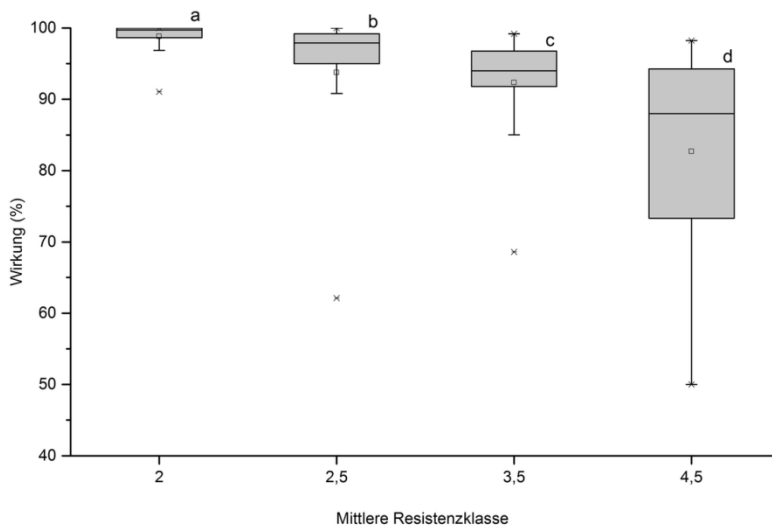


Abb. 1 Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfungsleistung im Verhältnis zum Resistenzniveau; Box-Plot Verteilung und Rangvarianzanalyse (Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$).

Fig. 1 Black grass control in relation to the class of herbicide resistance.

Die Analyse der Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz mit unterschiedlich stark ausgeprägter Herbizidresistenz ergab eine eindeutige Abhängigkeit der Bekämpfungsleistung von der jeweiligen Resistenzintensität. Für diese Auswertung wurde der Mittelwert der maximal aufgetretenen Resistenz gegenüber dem A- und B-Wirkmechanismus in Relation zur jeweiligen Acker-Fuchsschwanz-Wirkung der Behandlungsvarianten gesetzt. Für die, aus den

Einzelresultaten der Resistenzuntersuchungen, resultierenden mittleren Resistenzklassen von 2, 2,5, 3,5 und 4 ergab sich eine jeweils signifikant abnehmende Bekämpfungsleistung, die ab der Resistenzklasse 3,5 eine nur noch knapp befriedigende Wirkung erzielt und bei der Resistenzklasse 4,5 für eine ausreichend sichere Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfung nicht mehr ausreichend war (Abb. 1).

Die Untersuchung der Bekämpfungsleistung in Abhängigkeit von der Besatzdichte mit Acker-Fuchsschwanz ergab ebenfalls einen signifikanten Leistungsunterschied, sobald eine niedrige Besatzdichte (50 – 100 Pflanzen/m²) überschritten wurde (Abb.2). Der Abfall der Bekämpfungsleistung von einer mittleren zu einer hohen Besatzdichte konnte zwar nicht signifikant abgesichert werden, zeigte aber in der Tendenz eine deutlich abnehmende Wirkungssicherheit bei hoher Besatzdichte mit Acker-Fuchsschwanz.

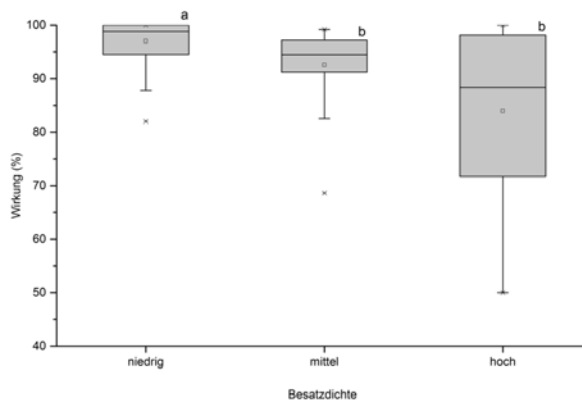


Abb. 2 Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfungsleistung im Verhältnis zur Besatzdichte; Box-Plot Verteilung und Rangvarianzanalyse (Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$).

Fig. 2 Herbicide efficacy in relation to the category of infestation with black grass.

Die Bewertung der verschiedenen Behandlungsverfahren im Versuchsprogramm ergab einen deutlichen Vorteil in der Bekämpfungssicherheit für intensivere Behandlungsvarianten (Abb. 3). Im Vergleich der Anwendungsvarianten erzielten die Spritzfolgebehandlung aus dem frühen Herbizeinsatz im Herbst und einer Nachbehandlung zum Vegetationsbeginn im Frühjahr (NAK / NAF-1), sowie die Splittingapplikation im Frühjahr (NAF-1 / NAF-2) die signifikant vorzüglichste Bekämpfungsleistung. Die Spritzfolge aus einer späteren Nachaufbehandlung im Herbst und Folgebehandlung im zeitigen Frühjahr (NAH / NAF-1) erreichte zwar ebenfalls ein relativ hohes Wirkungsniveau, war gegenüber den vorstehenden Behandlungsverfahren allerdings leistungsschwächer. Einfache Behandlungen im Herbst bzw. Frühjahr konnten nur noch knapp befriedigende bzw. nicht mehr ausreichende Bekämpfungsleistungen erzielen.

Die Auswertung der verschiedenen Behandlungsvarianten ergab ein sehr differenziertes Bild von sehr sicheren bis vollkommen unzureichenden Varianten (Abb. 4). Neben dem Vergleichsstandard (Var. 1) die Varianten 10, 11 und 12 eine gleichwertig sichere Bekämpfungsleistung erzielen. Die Varianten 2, 4, 5 und 9 eine vergleichbare Acker-Fuchsschwanz-Wirkung wie die Spitzenvarianten. Ein abgeschlagenes Wirkungsniveau musste für die Varianten 3 (einfache Herbstbehandlung mit niedriger Atlantis-Aufwandmenge), Var. 6 und 7 (einfache Frühjahrsbehandlungen mit reduzierter Atlantis-Aufwandmenge) und die Var. 8 (einfache Frühjahrsbehandlung mit niedriger Atlantis-Aufwandmenge und SSA-Ergänzung) festgestellt werden. Im Verhältnis von Mittelaufwand, bzw. Behandlungsindex zur Bekämpfungsleistung erreichte die Vergleichsvariante 1 (NAK-NAF-1 Spritzfolge mit Herold SC und Atlantis WG) das relativ beste Ergebnis. Als nahezu gleichwertig konnten sich noch die Varianten 4 (einfache NAH-Behandlung mit Herold SC + Atlantis WG in

reduzierter Aufwandmenge) und Var. 9 (frühe NAF-Behandlung mit Hoestar Super + Atlantis WG in reduzierter Aufwandmenge und Zusatz von Mero) erweisen, wenngleich bei letzterer das Wirkungs-niveau bereits einen kritischen Bereich erreicht hat.

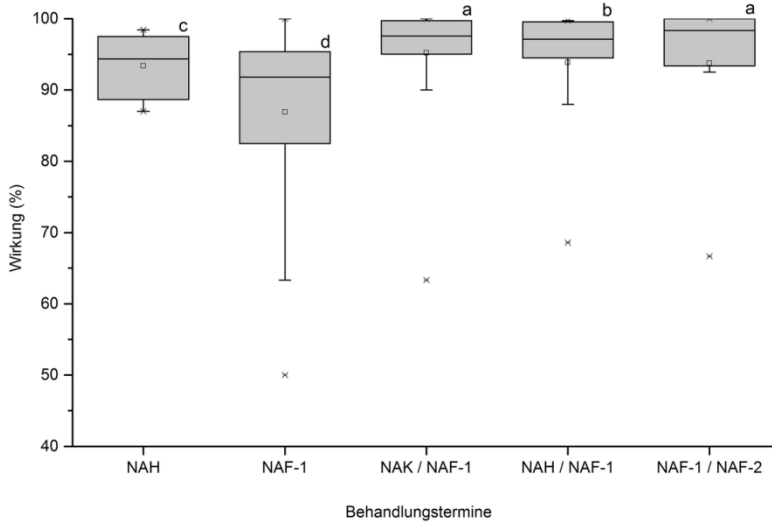


Abb. 3 Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfungsleistung von unterschiedlichen Behandlungsverfahren; Box-Plot Verteilung und Rangvarianzanalyse (Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$).

Fig. 3 Black grass control in relation to different kind of treatments.

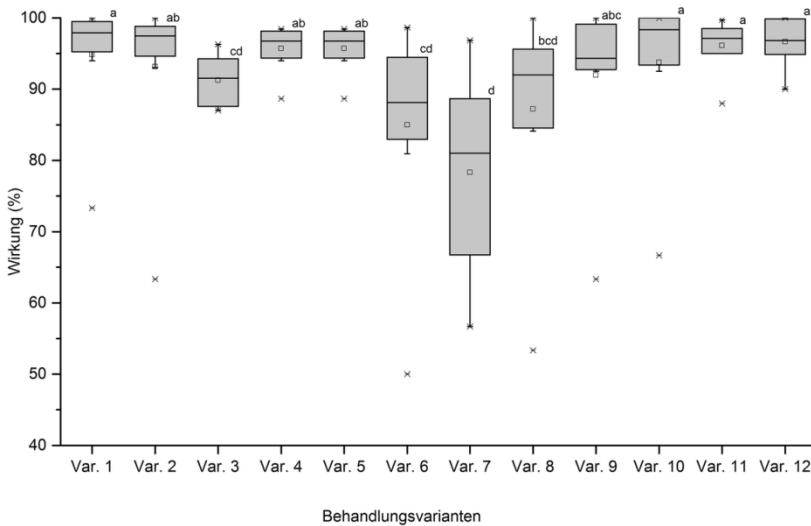


Abb. 4 Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfungsleistung von unterschiedlichen Behandlungsvarianten; Box-Plot Verteilung und Rangvarianzanalyse (Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$).

Fig. 4 Black grass control in relation to different herbicide treatments.

Diskussion

Die Ergebnisse der Versuchsserie bestätigen einen deutlichen Zusammenhang in der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Abhängigkeit von der Besatzdichte und dem Resistenzniveau der jeweiligen Population. Der Erfolg von Behandlungsvarianten gegenüber schwer bekämpfbaren Acker-Fuchsschwanz hängt, im Verhältnis zu den vorstehenden Kriterien im Weiteren, von der Intensität des Behandlungsverfahrens – Mehrfachbehandlungen sind grundsätzlich leistungsfähiger als Einfachbehandlungen – und vor allem der Wahl und Kombination der eingesetzten Herbizide ab. Die absolute Aufwandmenge bzw. die Höhe des Behandlungsindex ist noch kein Garant für die Wirkungssicherheit. Die Versuchsserie ergab mehrere erfolgreiche Behandlungsvarianten für die Bekämpfung von widerstandsfähigem Acker-Fuchsschwanz. Als ein zuverlässiges Konzept erwies sich hierbei Spritzfolge aus einer Herbstbehandlung (NAK oder NAH) und Frühjahrsbehandlung mit Atlantis. Die Atlantis-Aufwandmenge der Frühjahrsbehandlung zeigte hierbei eine gewisse Abhängigkeit von der Bekämpfungsleistung der vorausgehenden Herbstbehandlung (Var. 11 und 12 im Vergleich zur Var. 2). Bei reinen Frühjahrsbehandlungen war unter den gegebenen Versuchsbedingungen die maximale, registrierte Aufwandmenge von Atlantis erforderlich. Eine Reduzierung der Atlantis-Aufwandmenge muss durch den Zusatz von Mero ausgeglichen werden (Var. 9). Eine Splitting-Applikation (Var. 10) erreicht zwar auch ein sicheres Bekämpfungsniveau, ermöglicht aber keine zusätzliche Verbesserung der Wirkungssicherheit.

Anhand der zusammenfassenden Ergebnisse der Versuchsserie ist erkennbar, dass eine ausreichende Kontrolle von widerstandsfähigen, herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz relativ stark von der Anwendungsfähigkeit und Wirkungssicherheit weniger Herbizide (Flufenacet, Mesosulfuron + Iodosulfuron) abhängig ist. Hiermit werden neuere Untersuchungen zur optimierten Kombination von blatt- und bodenaktiven Herbiziden für die ausreichende Kontrolle von herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz bestätigt (BAILLY *et al.*, 2012). In Anbetracht der Tatsache, dass Landwirte wenig Interesse an der Abänderung ihrer gewohnten und, aufgrund der standortspezifischen Bedingungen, erforderlichen Anbauverfahren zeigen, besteht somit ein hoher Bedarf für ein angepasstes und möglichst effektives Herbizidmanagement für die nachhaltige Kontrolle von schwer bekämpfbaren Acker-Fuchsschwanz (CAVAN *et al.*, 2008). Die bestätigte Zunahme des Resistenzgrades und die Ausbreitung von herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz-Populationen (BAILLY *et al.*, 2012; GEHRING *et al.*, 2012) wird allerdings in Umsetzung eines integrierten Resistenzmanagements unumgänglich erfordern (ZWERGER *et al.*, 2002; BALGHEIM, 2006; GEHRING *et al.*, 2012). Die hohe Variabilität der Effekte von ackerbaulichen Maßnahmen (LUTMAN *et al.*, 2013) und die Notwendigkeit für ein, an den standortspezifischen Bedingungen optimiertes Herbizidmanagement werden hohe Herausforderungen an die landwirtschaftliche Praxis und Fachberatung zur Folge haben, um eine ökonomische Produktion von Winterweizen auf Acker-Fuchsschwanz-Standorten zu gewährleisten.

Literatur

- ANONYMOUS, 2007: Weeds in cereals - Efficacy evaluation of herbicides. European and Mediterranean Plant Protection Organization, EPPO Richtlinie PP 1/93 (3), 5 S.
- BAILLY, C.C., R.P. DALE, S.A. ARCHER, D.J. WRIGHT und S.S. KAUNDUN, 2012: Role of residual herbicides for the management of multiple herbicide resistance to ACCase and ALS inhibitors in a black-grass population. *Crop Protection* **34**, 96-103.
- BALGHEIM, R., 2006: Herbizidresistenzen vermeiden, Wirkstoffe erhalten – eine Gemeinschaftsaufgabe von Beratung, Forschung und Praxis am Beispiel des Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Journal of Plant Diseases and Protection* **XX**, 49-56.
- CAVAN, G., J. CUSSANS und S.R. MOSS, 2008: Modelling different cultivation and herbicide strategies for their effect on herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **40**(6), 561-568.
- CLARKE, J.H., A.M. BLAIR und S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). *Aspects of Applied Biology* **37**, 181-188.
- CUMMINS, I., D.N. BRYANT und R. EDWARDS, 2009: Safener responsiveness and multiple herbicide resistance in the weed black-grass (*Alopecurus myosuroides*). *Plant Biotechnology Journal* **7**(8), 807-820.
- DÉLYE, C., J.A.C. GARDIN, K. BOUCANSAUD, B. CHAUVEL und C. PETIT, 2011: Non-target-site-based resistance should be the centre of attention for herbicide resistance research: *Alopecurus myosuroides* as an illustration. *Weed Research* **51**(5), 433-437.

- GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT und C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. Julius-Kühn-Archiv **434**, 89-101.
- GEHRING, K., S. THYSSEN und T. FESTNER, 2012: Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* Huds. in Bayern. Julius-Kühn-Archiv, **434**, 127-132.
- HEAP, I., 2013: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online – www.weedscience.org
- LUTMAN, P.J.W., S.R. MOSS, S. COOK und S.J. WELHAM, 2013: A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. Weed Research **53**(5), 299-313.
- ZINK, G. und H. SCHLÜTER, 1999: PIAF – Planing, Information and Analysis System for Field Trials. In: IT Applications for the Agricultural Extension Service with regard to the Federal Structure of the Administration Organization in Germany. Referate 20. GIL Jahrestagung & EFITA/99, Bonn, 26-41.
- ZWARGER, P., O. RICHTER und U. BÖTTCHER, 2002: Strategien gegen die Entwicklung von Einfach- und Mehrfach-Herbizidresistenzen bei Unkräutern. Journal of Plant Diseases and Protection **XVIII**, 383-390.

Herbizidresistenz von Flughaferherkünften aus Rheinland-Pfalz

Herbicide resistance of Wild Oat (Avena fatua) populations from Rhineland-Palatinate

Bernd Augustin^{1*} und Hubert J. Menne²

¹Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen, Nahe, Hunsrück, Rüdeshheimerstr. 60, 55545 Bad Kreuznach, Germany

²Bayer CropScience AG, Industriepark Höchst, H872, 65926 Frankfurt am Main, Germany

*Korrespondierender Autor, bernd.augustin@dlr.rlp.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.041

Zusammenfassung

2011 wurden in Rheinland-Pfalz zwei und 2012 acht Flughafer-Samenproben (*Avena fatua*) von Flächen mit unzureichender Herbizidwirkung gesammelt. In zwei aufeinander folgenden Biotests wurden sie auf Herbizidresistenz getestet. Durch Behandlung mit Gibberellinsäure konnte die Entwicklung der Pflanzen vereinheitlicht werden. Geprüft wurden verschiedene ACCase-Hemmer (Ralon Super, Topik 100, Axial 50, Traxos, Focus Ultra) und ein ALS-Inhibitor (Husar OD). Bei drei der 10 Herkünfte waren Kreuzresistenzen gegen ACCase-Inhibitoren nachweisbar. Focus Ultra (Cycloxydim) war nicht betroffen. In zwei Herkünften war die gesamte Population betroffen, während sich Resistenzen bei der dritten Herkunft nur bei einzelnen Pflanzen zeigten. Die genetische Untersuchung ergab bei zwei Herkünften (2011) eine I1781L Target-Site-Mutation. Eine Population (2012) zeigte darüber hinaus die weiteren Target-Site-Mutationen W1999C, I2041V und C2088N. Die Minderwirkungen des ALS-Inhibitors bedürfen weiterer Untersuchungen mit abgestufter Aufwandmenge.

Stichwörter: ACCase, ALS, *Avena fatua*, Biotest, Target-Site

Abstract

In Rhineland-Palatinate two seed samples of Wild Oat (*Avena fatua*) were collected in 2011 and eight samples followed in 2012. They derived from fields with inadequate herbicide performance. In order to harmonise plant development, seeds were treated with gibberellic acid. Herbicide resistance was tested by means of two successive biotests using different ACCase-inhibitors (Ralon Super, Topik 100, Axial 50, Traxos, Focus Ultra) and one ALS-inhibitor (Husar OD). Three samples showed cross-resistance against ACCase-inhibitors, with the exception of Focus Ultra (Cycloxydim). Within two populations resistance was well established. Only single plants expressed resistance in a third sample. Genetic analysis found an I1781L target-site-mutation in two samples. One population showed additional mutations: W1999C, I2041V and C2088N. Further investigations, including different application rates, are necessary to explain the poor performance of the ALS-inhibitor.

Keywords: ACCase, ALS, *Avena fatua*, biotest, target site

Einleitung

Bis 2003 waren in Rheinland-Pfalz kaum Wirkungsprobleme von Ungras herbiziden zu beobachten. Daher wurden nur sporadisch Acker-Fuchsschwanzproben von Verdachtsflächen gesammelt und auf Resistenz getestet. Ab 2006 wurden von der amtlichen Beratung jährlich Ungrassamenproben von Getreideflächen mit Verdacht auf nachlassende Herbizidwirkung gesammelt. Bereits unter den Proben des Jahres 2006 konnte die erste ausgeprägte Resistenz gegen Blattherbizide (ACCCase-Hemmer) bei Acker-Fuchsschwanz nachgewiesen werden. Ab 2007 wurde die Probenahme auf den Gemeinen Windhalm ausgedehnt. Im Jahre 2008 konnte auf einem Standort eine ausgeprägte multiple Herbizidresistenz bei Gemeinen Windhalm festgestellt werden.

In Rheinland-Pfalz ist ein vergleichsweise hoher Anteil an Sommerungen in den Fruchtfolgen vorhanden (Sommergerste, Zuckerrüben, Kartoffeln, Mais). Das stark schwankende Flughaferaufkommen wurde bislang auf die Jahreswitterung und biologische Eigenschaften des Ungrases zurückgeführt. 2011 wurden erstmals zwei Flughaferherkünfte und 2012 acht weitere auf mögliche Herbizidresistenz getestet.

Material und Methoden

Die Kultivierung der Flughaferpflanzen erfolgte im Gewächshaus mit Zusatzbeleuchtung (Hortilux HPA 400, PAR 100-200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) und Temperatursteuerung (20 °C/14 Stunden und 10 °C/10

Stunden). Da der Flughafener trotz Konditionierung und Schälens der Samen nicht gleichmäßig genug keimte, wurden die geschälten Samen zusätzlich mit 200 mg Gibberellinsäure/l Wasser behandelt und anschließend 2-3 Tage im Kühlschrank vorgekeimt. Jeweils fünf angekeimte Samen wurden in Töpfe (11x11x12) mit Einheitserde (Stender E510) in dreifacher Wiederholung ausgelegt und mit 1 cm Erde-Sandgemisch abgedeckt. Die Herbizidbehandlung wurde im 2-(max. 3-) Blattstadium durchgeführt. Die Applikation erfolgte mit einer Schachtner Karrenspritze mit 4,0 km/h; 2,0 bar an der Düse (IDKN 12004), entsprechend 400 l/ha Wasseraufwand mit anschließender Rückklüftung. Es wurden nacheinander zwei verschiedene Biotests durchgeführt. Die im ersten Test nicht vollständig von den Herbiziden erfassten Herkünfte wurden anschließend erneut ausgesät und einer weiteren Testung unterworfen. In Tabelle 1 sind die Herbizide aufgeführt, die zum Einsatz kamen.

Tab. 1 Herbizidvarianten der aufeinanderfolgenden Bioteste.

Tab. 1 Herbicides used in the biotests.

Herbizidvarianten der Bioteste						
Test 1				Test 2		
Nr.	Herbizid	Aufw./ha	HRAC	Herbizid	Aufw./ha	HRAC
	Kontrolle			Kontrolle		
	Ralon Super Power Plus	1,2 l + 0,4 l*	A	Ralon Super Power Plus	1,2 l + 0,4 l*	A
	Ralon Super Power Plus	2,4 l + 0,4 l*	A	Ralon Super Power Plus	2,4 l + 0,4 l*	A
	Husar Power Set	0,1 + 1,0 l*	B	Ralon Super Power Plus	4,8 l + 0,4 l*	A
	Husar Power Set	0,2 + 1,0 l*	B	Topik 100	1,2 l	A
				Axial 50	1,2 l	A
				Axial 50	2,4 l	A
				Traxos	1,2 l	A
				Focus Ultra	2,5 l	A
				Husar OD + Mero	0,1 l + 1,0 l*	B
* Tankmischung mit Additiv gemäß Gebrauchsanweisung						

Drei und vier Wochen nach der Behandlung wurde eine Wirkungsbonitur durchgeführt. Die Einstufung von Sensitivität bzw. Resistenz erfolgte entsprechend dem in Tabelle 2 aufgeführten Schema. Abschließend wurde Pflanzenmaterial der Herkünfte, die als resistent eingestuft waren, mittels Pyrosequenzierung (MENNE *et al.*, 2008) durch die Firma Bayer CropScience auf vorhandene Target-Site-Mutationen untersucht.

Tab. 2 Einteilung der Resistenzklassen.

Tab. 2 Classification of herbicide resistance.

Einteilung der Resistenzklassen			
	Klasse	Wirkungsgrad (%)	
Einstufung	5	100	83,4
	+	1	83,3
		2	66,6
	++	3	49,9
		4	33,2
+++	5	16,5	0

Ergebnisse

Bei den Herkünften F1 und F2/2011 und F8/2012 waren Kreuzresistenzen zwischen den eingesetzten ACCase-Inhibitoren feststellbar. Lediglich Focus Ultra (Cycloxydim) war noch voll wirksam. Die Herkunft F2/2011 zeigte einen fortgeschrittenen Resistenzgrad mit einer Abstufung von Ralon Super (Fenoxaprop-p-ethyl) zum Axial (Pinoxaden). Bei der Herkunft F1/2011 beschränkte sich die Resistenz auf Einzelpflanzen. Die Probe F8/2012 zeigte gegen alle geprüften ACCase-Einzelwirkstoffe einen hohen Resistenzgrad. Lediglich das Kombinationspräparat Traxos (Clodinafop + Pinoxaden) war in der angewendeten Dosierung noch voll wirksam.

Tab. 3 Einstufung der Herbizidresistenz bei Flughäferherkünften aus Rheinland-Pfalz.

Tab. 3 Classification of herbicide resistance of Wild Oat populations collected in Rhineland-Palatinate.

Einstufung Flughäfer Herbizidresistenz							
- Probenherkünfte RLP 2011 und 2012 -							
		Ralon Super Power Plus	Topik	Axial	Traxos	Focus Ultra	Husar Power Set
F1/2011	Fürfeld	(+)	(+)	(+)	(+)	s	0
F2/2011	Mainz-Bretzenheim	++	++	+	+	s	0
F1-7/2012		s	s	s	s	s	s
F8/2012	Hochborn	+++	+++	+++	s	s	0
s sensitiv, Herbizid voll wirksam (+) Einzelpflanzen überleben + schwache Resistenz ++ mittlere Resistenz +++ hohe Resistenz 0 Testung noch nicht abgeschlossen							

Die anschließende genetische Untersuchung ergab bei den beiden Herkünften des Jahres 2011 eine I1781L Target-Site-Mutation. Die Population F8/2012 zeigte darüber hinaus die weiteren Target-Site-Mutationen W1999C, I2041V und C2088N. Alle Mutationen waren heterozygot, unterschiedlich stark ausgeprägt (13-100 %) und auf einer unterschiedlichen Anzahl von Allelen vorhanden. Zur Beurteilung der beobachteten Minderwirkung der ALS-Hemmer bedarf es weiterer Untersuchungen mit abgestuften Aufwandmengen.

Diskussion

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die in der Praxis beobachteten Minderwirkungen von Herbiziden bei Flughafel teilweise auf Resistenz beruhen. Der Flughafel reagiert einerseits auf einseitigen Herbizideinsatz vergleichbar wie Acker-Fuchsschwanz und Gemeiner Windhalm. Andererseits ist aufgrund der Hexaploidie des Genoms eine Abschätzung des Resistenzgrades in Abhängigkeit von dem Vorkommen von Target-Site Mutationen auf den einzelnen Allelen zurzeit noch spekulativ. Untersuchungen von Yu *et al.* (2013) haben gezeigt, dass die Auswirkungen von Einzelmutationen bei Flughafel geringer ausfallen als in diploiden Arten, wie Acker-Fuchsschwanz und Deutsches Weidelgras. Das Vorkommen von Doppel- und Dreifachmutationen erhöht jedoch die Resistenzausprägung. Besonderheiten in der Keimbologie des Flughafels können möglicherweise die Resistenzentwicklung verzögern. Dazu gehören die Lebensdauer und Keimruhe der Samen, die Tiefenkeimung und ein verstärkter Auflauf in Sommerungen.

Literatur

- MENNE, H.J., J. WAGNER, C. SCHLEICH-SAIDFA, J.H. HOPPE, B. ZANGE und M. BARTELS, 2008: Target-Site-Resistenz in Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) gegenüber ACCase Inhibitoren in Norddeutschland – Gibt es korrelierende Faktoren in den unterschiedlichen Produktionssystemen? *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XXI*, 31-36.
- YU, Q., M.S. AHMAD-HAMDANI, H. HAN, M.J. CHRISTOFFERS und S.B. POWLES, 2013: Herbicide resistance-endowing ACCase gene mutations in hexaploid wild oat (*Avena fatua*): Insights into resistance evolution in a hexaploid species. *Heredity* **110**, 220-231.

Untersuchungen zum Auflaufverhalten von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Abhängigkeit des Aussaattermins und der Winterweizensorte in Norddeutschland

*Field studies on the germination behaviour of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) depending on sowing date and winter wheat variety in Northern Germany*

Manja Landschreiber

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Abteilung Pflanzenbau, Pflanzenschutz, Umwelt;
Meesenring 9, 23566 Lübeck
mlandschreiber@lksh.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.042

Zusammenfassung

Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*, Huds.) gehört zu den wichtigsten herbizidresistenten Ungräsern Europas. In Deutschland ist die Verungrasung mit Ackerfuchsschwanz inzwischen nicht mehr nur ein Problem der maritim beeinflussten Gebiete wie Schleswig-Holstein und Niedersachsen, sondern auch in anderen Regionen Deutschlands entwickelt sich Ackerfuchsschwanz zum bedeutendsten Ungras im Getreide- und Rapsanbau. Die Ursachen hierfür sind vielfältig, die ökonomische Ausrichtung des Ackerbaus mit engen Winterfruchtfolgen und frühen Aussaatterminen ist ein Punkt, Herbizidresistenzen ein anderer. Ackerfuchsschwanz keimt im Herbst und im Frühjahr, wobei der Hauptauflauf von Ende August bis Anfang Oktober erfolgt. Wenn Wintergetreide früh ausgesät wird, erfolgt der Hauptauflauf des Ungrases im Getreidebestand. In Getreidekulturen aufgelaufener Ackerfuchsschwanz kann dann nur noch mit kulturspezifischen Herbiziden bekämpft werden. Der Druck auf die Herbizide steigt, Resistenzen können die Folge sein. Solange wirksame Herbizide zur Verfügung stehen, sind Landwirte selten bereit auf unkrautbiologische und pflanzenbauliche Maßnahmen der Unkrautbekämpfung wie z. B. die Wahl eines späteren Saattermins einzugehen. Das spätere Saattermine oft mit weniger Ackerfuchsschwanz verbunden sind, wird zwar wahrgenommen, aber in Schleswig-Holstein kaum umgesetzt. In den Augen der Landwirte sind spätere Saattermine mit einem zu hohen Risiko behaftet, da stärkere Niederschläge z. B. auf Marschböden eine Bestellung erschweren oder auch unmöglich machen können. Um dieser Fragestellung gezielt nachzugehen, wurde ein Feldversuch zum Auflaufverhalten von Ackerfuchsschwanz zu zwei Saatterminen durchgeführt. Dieser Versuch zeigt eine deutliche Reduzierung des Ackerfuchsschwanzbesatzes bei einem späteren Saattermin.

Stichwörter: Ackerfuchsschwanz, *Alopecurus myosuroides*, Auflaufverhalten, Aussaattermin, Keimruhe, Sortenwahl

Abstract

Black-grass (*Alopecurus myosuroides*, Huds.) is the most important herbicide-resistant weed in Europe. In Germany it is not only a problem in the maritime influenced areas like Schleswig-Holstein and Lower Saxony anymore, as well in other regions black-grass develops to the most important weed in winter wheat and oilseed rape. There are multifaceted reasons for that, one reason are close winter crop rotations and early sowing dates which are economically very attractive for the farmers, another one are herbicide resistances. Black-grass germinates in autumn and in spring, but the main germination period is from late August to early October. If winter wheat is sown early in autumn, the main germination is in parallel to the wheat. Then the weeds can only be managed by culture specific herbicides. The pressure on the herbicides is therefore increasing. Herbicide resistances can be the result. As long as very effective herbicides are available, so that farmers are not dependent on weed biology and plant production weed management measures such as sowing date. Late sowing dates can reduce the black-grass populations, but this option is not attractive to many farmers in Schleswig-Holstein. In mind of the farmers the risk of delayed sowing dates in autumn is too high, because increased rainfall such as can make it difficult to marsh soils sowing, or make impossible. Objective of this trial was the germination of Black-grass to show to two sowing dates. The results of the field trial show, that black-grass populations can be reduced if winter wheat is sown later in autumn.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, Black-grass, dormancy, germination, sowing date, variety selection

Einleitung

Ackerfuchsschwanz ist nicht nur in England das Hauptungras, auch in Deutschland nehmen die Problemflächen verstärkt zu. Die Ursachen dafür sind vielschichtig. Mit Zunahme des Getreides in der Fruchtfolge traten auch vermehrt Ungräser, und somit auch der Ackerfuchsschwanz, in den Vordergrund. In der Folge wurde gegen dieses Ungras eine Vielzahl von Herbiziden eingesetzt. Mit jeder Anwendung fand eine Selektion in der Ackerfuchsschwanzpopulation statt, was dann nach und nach zu Resistenzen gegen bestimmte Wirkstoffe und ganze Wirkstoffgruppen führte (CHAUVEL *et al.*, 2009; KLINGENHAGEN, 2012). Ökonomisch attraktive Winterungen einhergehend mit frühen Saatterminen, einer Zunahme der Minimalbodenbearbeitung und das Nachlassen bzw. der Ausfall bisher wirksamer Herbizide aufgrund von Resistenzen führte zu einem stetigen Anstieg des Samenpotentials im Boden und somit zu einer großflächigen Ausbreitung von Ackerfuchsschwanz (LUTMAN und MOSS, 2009). Auf Flächen, wo Herbizidresistenzen vorherrschen, treten wieder ackerbauliche Maßnahmen, wie Fruchtfolge und Saattermin in den Vordergrund (BERTHOLDSSON, 2012). Ökologisch wirtschaftende Betriebe säen aus diesem Grund nicht vor Mitte Oktober und haben so ein geringes Gräserproblem (LUTMAN und MOSS, 2009). In Schleswig-Holstein ist besonders der Punkt Saattermin in der Vergangenheit stark in den Hintergrund getreten. Die Herbizide waren wirksam genug um nicht das Risiko eingehen zu müssen aufgrund schwieriger Witterungsbedingungen (wie einer hohen Niederschlagsintensität und damit verbundener eingeschränkter Befahrbarkeit) den Winterweizen nicht bestellen zu können. In den Jahren 2011 und 2012 konnte ein Großteil der Fläche an der Westküste Schleswig Holsteins aufgrund von längeren Niederschlagsperioden im Herbst erst sehr spät oder gar nicht mehr bestellt werden. Die daraus resultierenden Ergebnisse, nämlich eine starke Reduzierung des Ackerfuchsschwanzbesatzes wurden zwar zur Kenntnis genommen, eine Anpassung der Wirtschaftsweise durch diese positiven Erfahrungen fand in Schleswig-Holstein aber nur in seltenen Fällen statt. Von 1995 bis 2000 bearbeitete der Pflanzenschutzdienst Schleswig-Holstein die Problematik Ackerfuchsschwanz in Abhängigkeit vom Saattermin. Dazu wurden die Versuche zu Wirksamkeiten von Herbiziden zu jeweils zwei Saatterminen (als Früh- und Normalsaat deklariert) angelegt. Die Aussaattermine lagen überwiegend im September. Trotzdem konnte geringerer Ackerfuchsschwanzbefall in der zweiten Saatzeit festgestellt werden (PFLANZENSCHUTZDIENST DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN, 1995-2000). Ziel des Versuchs 2012/2013 war es, den Einfluss einer späteren Winterweizensaat im Vergleich zur Normalsaat auf den Ackerfuchsschwanzbesatz zu untersuchen und zusätzlich die Sortenfrage zu beleuchten.

Material und Methoden

Der Feldversuch wurde im Herbst 2012 in Klein Schenkenberg (Kreis Stormarn, Schleswig-Holstein) angelegt. Die Versuchsfläche betrug 0,11 ha. Resistenzuntersuchungen aufgrund eines Samenmonitorings weisen verminderte Wirksamkeiten vom Herbizid Lexus auf. Die Versuchsanlage bestand aus einer randomisierten Blockanlage mit vierfacher Wiederholung zu zwei Saatterminen. An jedem Saattermin wurden 5 Winterweizensorten ('Farandole', 'Julius', 'Inspiration', 'Tobak' und 'Orcas') mit der Parzellensämaschine eingesät. Die Auswahl der Sorten orientierte sich am aktuellen Angebot und berücksichtigte die Frohwüchsigkeit, das Bestockungsverhalten und das Abdeckverhalten gegenüber Ungräsern durch breite Weizenblätter. Die Saattermine waren keine klassischen Früh- und Spätsaattermine, sondern zwei Termine, an denen es unter den schwierigen Aussaatbedingungen 2012 gelang, den Winterweizen fachgerecht zu säen. Der erste Block wurde am 20. September 2012 mit 250 Körnern pro qm (bei der Sorte 'Inspiration' mit 200 Körnern pro qm) gesät, der zweite Block am 12. Oktober 2012 mit 320 Körnern pro qm ('Inspiration' mit 300 Körnern pro qm). Die Saatstärke bei der Sorte 'Inspiration' wurde entsprechend den Bestockungseigenschaften der Sorte und der Empfehlung des Züchters reduziert. Die Parzellengröße betrug 11m x 2,5m. Pro Sorte und Saattermin wurden zwei Parzellen randomisiert gesät. Eine Variante blieb als unbehandelte Kontrolle, die andere wurde mit Bodenherbiziden (0,6 l/ha Herold + 2,0 l/ha Malibu) in BBCH 09 behandelt (dieses Stadium war in den Blöcken die zum ersten Saattermin ausgesät wurden, am 29. September

erreicht, beim zweiten Saattermin, am 16. Oktober). Im Frühjahr wurden die langen Parzellen geteilt und die hintere Hälfte wurde am 15.04. mit dem zurzeit wirksamsten Blattherbizid, mit 500 g/ha Atlantis WG behandelt. Pro Sorte ergaben sich für die Auswertung somit vier Varianten: 1. Kontrolle, 2. Bodenherbizid, 3. kein Bodenherbizid + Atlantis WG im Frühjahr, 4. Bodenherbizid + Atlantis WG im Frühjahr. Nach einer Herbstbonitur folgten im Frühsommer die Bonitur des Ackerfuchsschwanzbesatzes durch Auszählung der Ähren pro qm und die Zählung der Winterweizenähren pro qm. Der Versuch wurde mit dem Parzellenmähdrescher beerntet und statistisch ausgewertet. Die statistische Auswertung erfolgte durch eine Varianzanalyse und einem Mittelwertvergleich (Newman-Keuls-Test) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%. Kulturbegleitende Maßnahmen wie Düngung und weitere Pflanzenschutzmaßnahmen wurden einheitlich über alle Parzellen durchgeführt.

Ergebnisse

Nach der Aussaat am 20.09. fielen bis zum 27.09. 30mm Niederschlag. Winterweizen und Ackerfuchsschwanz begannen am 27.09. aufzulaufen. Nach dem zweiten Saattermin lief der Winterweizen am 15.10. auf. Der Ackerfuchsschwanz begann 5 Tage später verzettelt aufzulaufen. Mit Vegetationsende Ende November gingen alle Sorten mit ausreichend Blattmasse in den Winter. In der zwischenzeitlichen schneefreien Phase Anfang März zeigte sich ein deutlicher Unterschied in der Bestandesentwicklung zwischen beiden Saatterminen. In den Parzellen des ersten Saattermins hatte sich der Winterweizen schon mit 4 bis 5 Trieben bestockt. Auch die Ackerfuchsschwanzpflanzen hatten zum Teil schon 4 Triebe, es waren aber auch kleine Ackerfuchsschwanzpflanzen mit 2 Blättern vorhanden. In den Parzellen des zweiten Saattermins begann der Winterweizen gerade mit der Bestockung. Ein bis zwei Nebentriebe konnten festgestellt werden. Ein großer Unterschied zwischen den Sorten bestand nicht. Der Ackerfuchsschwanz hing in der Entwicklung deutlich hinterher. Die Ackerfuchsschwanzpflanzen hatten größtenteils 2-3 Blätter, nur vereinzelt fand man Pflanzen, die schon 2 Nebentriebe aufwiesen. Nach der erneuten Schneeperiode vom 09.03. bis 07.04.2013 stellten alle Sorten aus beiden Saatzeiten sehr gut ins Frühjahr. Einzig die Sorte 'Orcas' fiel durch Blätterfärbungen auf, die ca. 2 Wochen anhielten bis sie sich verwachsen hatten. In den Parzellen des zweiten Saatzeitpunktes wuchsen die Sorten 'Farandole' und 'Inspiration' tendenziell etwas frohwüchsiger, die Bestände waren früher dichter, als bei den anderen Sorten. Vereinzelt wiesen in der A-Wiederholung des zweiten Saattermins die Parzellen der Sorten 'Julius' und 'Tobak' leichte Wildschweinschäden auf, so dass dort die Weizenbestände etwas lückig aus dem Winter kamen. Mit Fortschreiten der Vegetation zogen sich die Bestände zu. Nur vereinzelt konnten in diesen Lücken nachlaufende Ackerfuchsschwanzpflanzen bonitiert werden. Für die Auswertung des Versuches hatte dies keine Bedeutung. In den folgenden Abbildungen (Abb. 1 - Abb. 7) sind die Boniturergebnisse der einzelnen Sorten (Ackerfuchsschwanzbesatz pro qm und Anzahl Weizenähren pro qm) und ein Vergleich der Sorten zum Saattermin dargestellt. Bei allen 5 Sorten ist eine deutliche Reduzierung des Ackerfuchsschwanzbesatzes zum zweiten Saattermin über alle Varianten festzustellen. Bei den Sorten 'Farandole' und 'Inspiration' lag die unbehandelte Kontrolle beim zweiten Saattermin im Ackerfuchsschwanzbesatz sogar unter der Bodenherbizidvariante der ersten Saatzeit. In der ersten Saatzeit wies die Sorte 'Julius' in der unbehandelten Kontrolle den stärksten Ackerfuchsschwanzbesatz auf, in der Bodenherbizidvariante schnitt sie neben 'Orcas' am besten ab. In der zweiten Saatzeit lagen 'Farandole' und 'Inspiration' in der unbehandelten Kontrolle im Ackerfuchsschwanzbesatz deutlich unter dem der anderen drei Sorten. Der höchste Ackerfuchsschwanzbesatz wurde in der Sorte 'Tobak' bonitiert. Die Bekämpfung im Frühjahr mit Atlantis WG zeigt sehr deutlich die Wirkungsunterschiede in den beiden Saatterminen. In der ersten Saatzeit stand zum einen deutlich mehr Ackerfuchsschwanz und zum anderen war dieser auch kräftiger entwickelt. Mit Ausnahme der Sorte 'Inspiration' in der zweiten Saatzeit zeigten die Varianten Bodenherbizid + Atlantis WG eine zum Teil deutlich höhere Bestandesdichte von Weizenähren pro qm. Eine besonders große Differenz zwischen den beiden Saatterminen bestehen in den Kontrollvarianten der Sorten 'Farandole' und 'Tobak'. Die Sorte 'Tobak' erzielte zu

beiden Saatterminen in den behandelten Varianten den höchsten Ertrag. Die Sorte 'Julius' fiel in der zweiten Saatzzeit ertraglich ab.

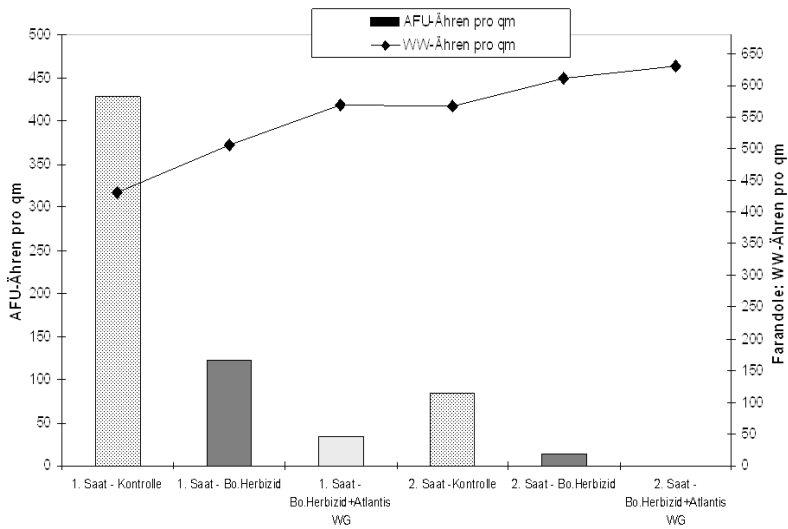


Abb. 1 Darstellung des Ackerfuchsschwanzbesatzes der beiden Saattermine in der Sorte 'Farandole'.

Fig. 1 Influence of sowing date on black-grass populations in the variety 'Farandole'.

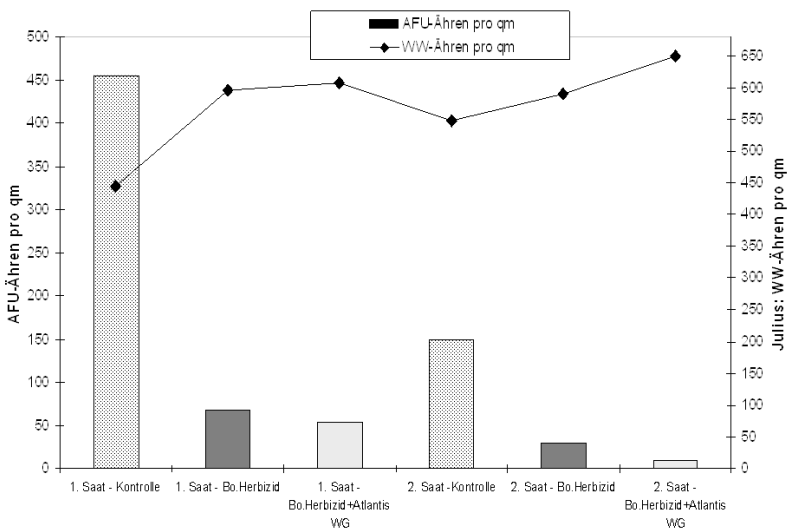


Abb. 2 Darstellung des Ackerfuchsschwanzbesatzes der beiden Saattermine in der Sorte 'Julius'.

Fig. 2 Influence of sowing date on black-grass populations in the variety 'Julius'.

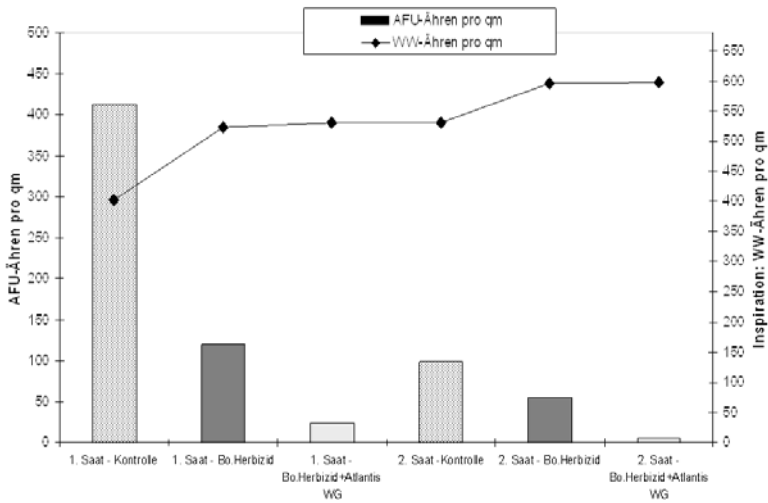


Abb. 3 Darstellung des Ackerfuchsschwanzbesatzes der beiden Saatzeiten in der Sorte 'Inspiration'.
Fig. 3 Influence of sowing date on black-grass populations in the variety 'Inspiration'.

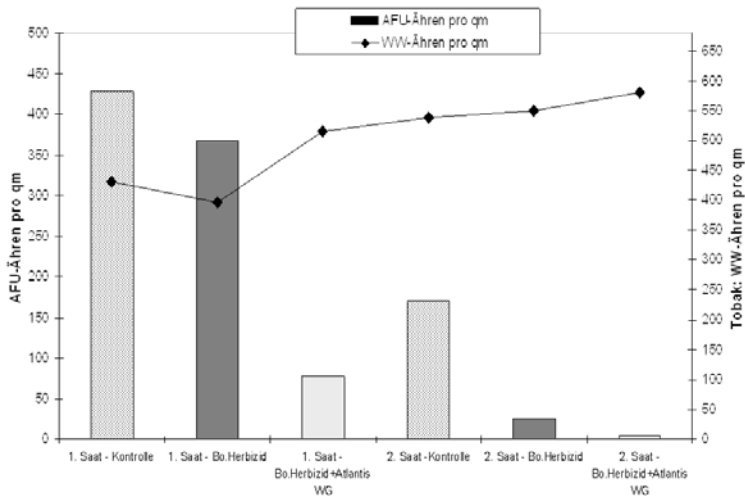


Abb. 4 Darstellung des Ackerfuchsschwanzbesatzes der beiden Saatzeiten in der Sorte 'Tobak'.
Fig. 4 Influence of sowing date on black-grass populations in the variety 'Tobak'.

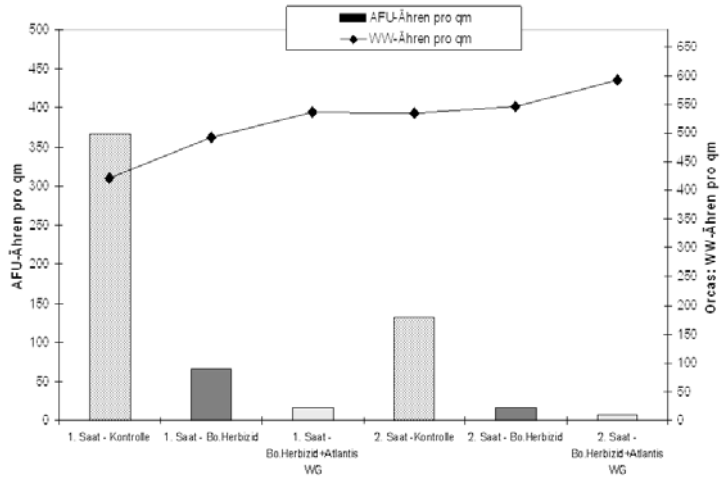


Abb. 5 Darstellung des Ackerfuchsschwanzbesatzes der beiden Saatzeiten in der Sorte 'Orcas'.

Fig. 5 Influence of sowing date on black-grass populations in the variety 'Orcas'.

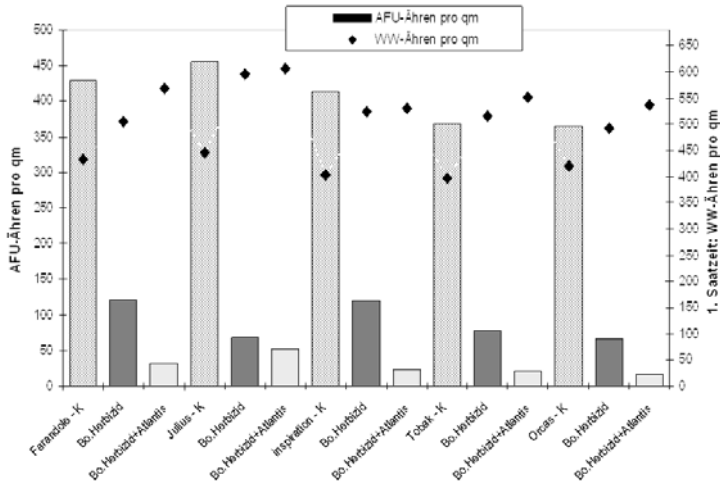


Abb. 6 Darstellung des Ackerfuchsschwanzbesatzes der verschiedenen Sorten in der ersten Saatzeit.

Fig. 6 Influence of different varieties in the first sowing date.

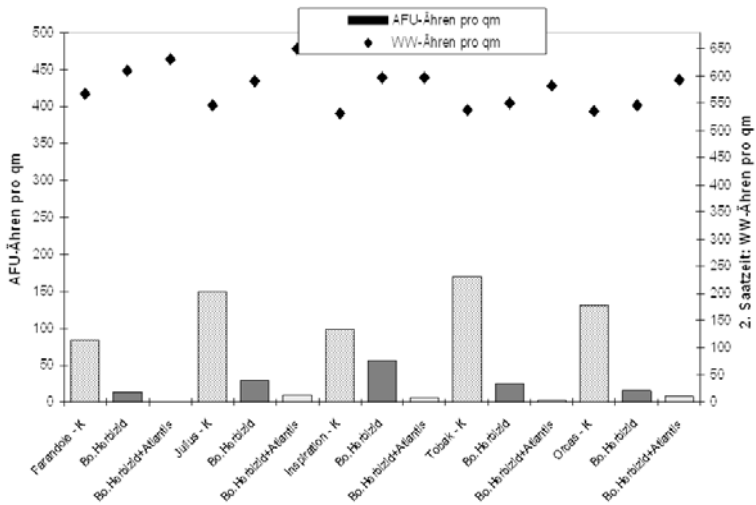


Abb. 7 Darstellung des Ackerfuchsschwanzbesatzes der verschiedenen Sorten in der zweiten Saatzeit.
Fig. 7 Influence of different varieties in the second sowing date.

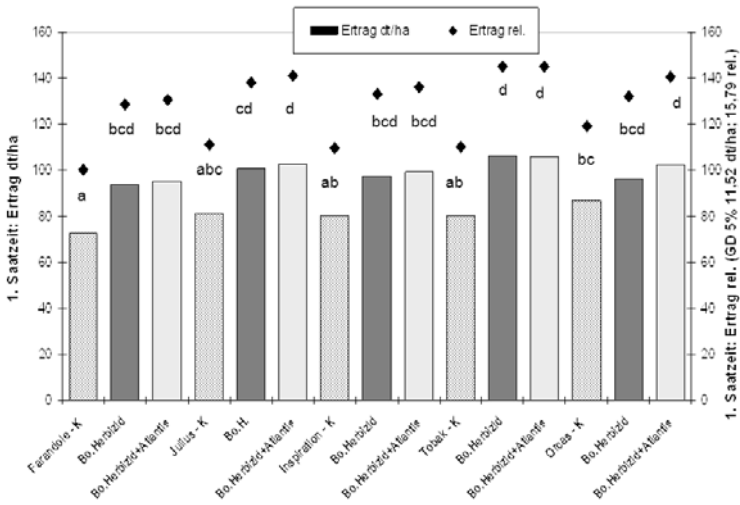


Abb. 8 Darstellung der Erträge der verschiedenen Sorten in der ersten Saatzeit.
Fig. 8 Yield (dt/ha) from different species of first sowing.

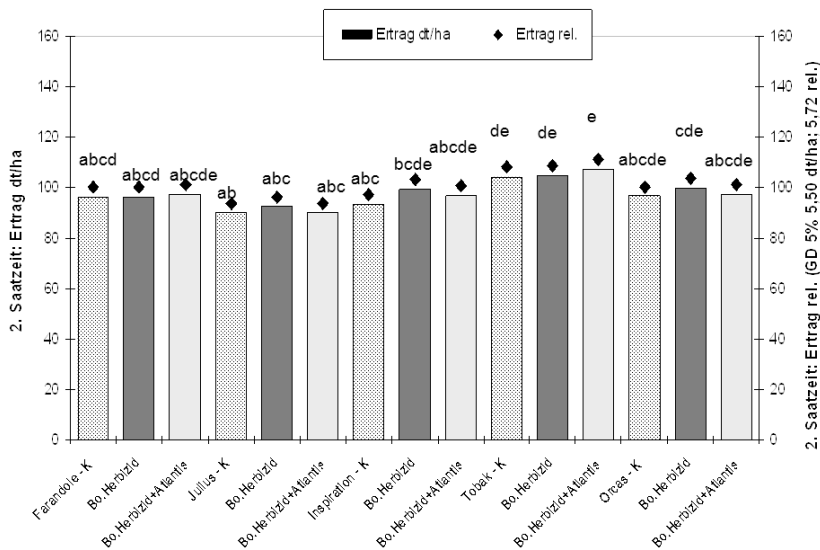


Abb. 9 Darstellung der Erträge der verschiedenen Sorten in der zweiten Saatzeit.

Fig. 9 Yield (dt/ha) from different species of second sowing.

Diskussion

Die in den Versuchen des Pflanzenschutzdienstes Schleswig-Holstein von 1995 bis 2000 erzielten Ergebnisse (PFLANZENSCHUTZDIENST DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN, 1995 - 2000) und Beobachtungen aus der Praxis, dass spätere Saattermine den Besatz mit Ackerfuchsschwanz reduzieren, konnten in dem Exaktversuch bestätigt werden. Die dreiwöchige spätere Saat führte zu einer deutlichen Reduktion des Ackerfuchsschwanzbesatzes in allen Winterweizensorten. Der schnellere Start im Frühjahr der Sorten 'Farandole' und 'Inspiration' machte sich besonders in der zweiten Saatzeit bemerkbar. In diesen beiden Sorten lag die unbehandelte Kontrolle im Ackerfuchsschwanzbesatz deutlich unter dem der anderen drei Sorten. Die Frühjahrsbehandlung mit Atlantis WG führte in der zweiten Saatzeit durchweg zu besseren Wirkungsgraden. Zum einen war der Ausgangsbesatz geringer und zum anderen waren die Ackerfuchsschwanzpflanzen zum Zeitpunkt der Behandlung nicht so stark entwickelt. Im Vergleich zum ersten Saattermin konnten nur vereinzelt Ackerfuchsschwanzpflanzen bonitiert werden, die ein bis zwei Nebentriebe aufwiesen. Bestockte Ackerfuchsschwanzpflanzen werden mit Blattherbiziden schlechter bekämpft, der Selektionsdruck steigt. Des Weiteren gibt es einen Zusammenhang zwischen hohem Ackerfuchsschwanzbesatz, wie er in der ersten Saatzeit in den Kontrollvarianten der einzelnen Sorten vorherrscht und der Bestandesdichte mit Winterweizen. Hoher Ackerfuchsschwanzdruck geht mit geringeren Weizenähren pro qm einher. Vergleicht man die Weizenähren in den Kontrollvarianten der beiden Saatzeiten miteinander, so ist auch hier ein deutlicher Anstieg in der zweiten Saatzeit festzustellen. In den Erträgen der ersten Saatzeit machten sich in den Kontrollen der Ackerfuchsschwanzbesatz und die geringeren Weizenähren pro qm bemerkbar. Ackerfuchsschwanz kostet Ertrag, hier bis zu 30 dt/ha. Der ertragliche Abfall der Sorte 'Julius' ist dem Erntetermin 07.08. geschuldet. Dieser Termin war für die als spätreif eingestufte Sorte zu früh. Versuchstechnisch bedingt wurden alle Parzellen zum gleichen Termin geerntet.

Die Ergebnisse des Versuches weisen deutlich auf die Diskrepanz zwischen praxisbevorzugten Aussaatterminen und dem Auflauf des Ackerfuchsschwanzes hin. Der Hauptauflauf von

Ackerfuchsschwanz im Herbst findet im Monat September statt. Dann sind die Keimbedingungen, wie Bodentemperatur (10-15 °C) und Feuchtigkeit optimal (MENCK, 1968). Diese Periode korreliert eindeutig mit der bevorzugten Saatzeit für Winterweizen in Schleswig-Holstein. Der Großteil der Winterweizenbestellung in der Fruchtfolge Winterraps-Winterweizen-Wintergerste erfolgt im Monat September. Je nachdem wie zeitig die Winterrapsenernte erfolgte und wie sich die Witterung gestaltet, wird die Bestellung in der ersten Septemberhälfte durchgeführt. Je nach Ausprägung der Keimruhe des Ackerfuchsschwanzsamens und der durchgeführten Bodenbearbeitung erfolgt der Auflauf des Ackerfuchsschwanzes erst nach der Weizenaussaat. Der Ackerfuchsschwanz verfügt über eine primäre und eine sekundäre Keimruhe (MENCK, 1968; COOK *et al.*, 2006). Die primäre Keimruhe ist zum einen genetisch bedingt und zum anderen wird sie durch die Temperaturen von der Blüte bis zur Abreife geprägt. Warme und weitestgehend trockene Witterung in diesem Zeitraum führen zu einer kurzen Keimruhe. Kühlere Temperaturen einhergehend mit Niederschlägen führen zu einer ausgeprägten Keimruhe von 6 bis 8 Wochen (COOK *et al.*, 2006). Werden Ackerfuchsschwanzsamen durch Bodenbearbeitung wie Pflügen oder Grubbern in den Boden gebracht, fallen diese in eine sekundäre Keimruhe. Dort können sie in milden gut durchlüfteten Böden ca. drei bis vier Jahre, auf schweren Böden jedoch bis zu 10 Jahren, zum Teil bis zu 20 Jahren lebensfähig bleiben und reichern dort den Samenvorrat an (MENCK, 1968). Werden Samen aus tieferen Schichten durch Bodenbearbeitungsgeräte an die Bodenoberfläche gebracht, reicht ein Lichtblitz von 1/100 Sekunde aus, um Keimung zu induzieren (MENCK, 1968; ANDERSSON und ÅKERBLUM ESPEBY, 2009). Das bedeutet, hochgepflügter Ackerfuchsschwanzsamen kann im Vergleich zu frisch ausgefallenem Samen (bei langer primärer Keimruhe) schneller keimen. So gesehen kann Pflügen kurzfristig den Ackerfuchsschwanzbesatz reduzieren, langfristig gesehen ist der Pflug aber eher kontraproduktiv, da die Samenbank aufgefüllt wird und sich das System letztendlich im Kreis dreht.

Der Hauptaufstieg der Samen erfolgt aus den obersten zwei cm der Bodenschicht (MENCK, 1968; BOND *et al.*, 2007; JENSEN, 2009). Um den Bodensamenvorrat nicht weiter ansteigen zu lassen und zusätzlich das Samenpotential von Ackerfuchsschwanz im Boden zu reduzieren, muss so viel Samen wie möglich vor der Bestellung zur Keimung gebracht werden. Das bedeutet zum einen, frisch ausgefallenen Samen nicht vergraben, sondern zur Keimung anregen. Eine flache Stoppelbearbeitung kann aber nur Effekte bringen, wenn der Ackerfuchsschwanz auch keimt. Das bedeutet, bei einer langen primären Keimruhe ist eine Stoppelbearbeitung wirkungslos und zusätzlich mit der Gefahr verbunden, Samen in die Bodenkrume einzuarbeiten. Liegen Keimbedingungen vor, so können mehrmaliges Striegeln oder flache Stoppelbearbeitung (1-2 cm) die nötigen Lichtreize bieten, um Ackerfuchsschwanz zum Auflaufen zu bringen. Der dann vor der Getreideaussaat aufgelaufene Ackerfuchsschwanz kann mechanisch bekämpft werden. Somit wird Druck von den kulturspezifischen Herbiziden genommen. Da zum mehrmaligen Striegeln Zeit benötigt wird, je länger die primäre Keimruhe ist, umso mehr Zeit wird benötigt, muss der Saattermin sich nach hinten verschieben. In letzter Konsequenz muss auch über eine Sommerung nachgedacht werden, um die Möglichkeit Zeit zu nutzen.

Durch eine spätere Saat wird zum einen Zeit geschaffen vorhandene Samen zum Auflaufen zu bringen und zum anderen fällt die Phase des Hauptauflaufes von Ackerfuchsschwanz vor die Aussaat. Das belegt der Versuch sehr deutlich. Abschließende Aussagen zu dem Bedeckungsverhalten der geprüften Weizensorten können noch nicht gegeben werden. Um dahingehend weitere Ergebnisse zu erhalten, ist dieser Versuch auf derselben Fläche erneut angelegt worden.

Literatur

- ANDERSSON, L. und L. ÅKERBLUM ESPEBY, 2009: Variation in seed dormancy and light sensitivity in *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti*. *Weed Research* **49**, 261-270.
- BERTHOLDSSON, N.-O., 2012: Allelopathy-ATool to Improve the Weed Competitive Ability of Wheat with Herbicide-Resistant Black-Grass (*Alopecurus myosuroides*, Huds.). *Agronomy* **2**, 284-294; doi:10.3390/agronomy2040284. ISSN 2073-4395.

- BOND, W., G. DAVIES und R. TURNER, 2007: The biology and non-chemical control of black-grass (*Alopecurus myosuroides*, Huds.). <http://www.gardenorganic.org.uk/organicweeds>.
- CHAUVEL, B., J.-P. GUILLEMIN und N. COLBACH, 2009: Evolution of a herbicide-resistant population of *Alopecurus myosuroides*, Huds. in a long-term cropping system experiment. *Crop Protection*, doi:10.1016/j.cropro.2008.11.013.
- COOK, S. K. und R. BROOKE, 2006: Collection and dormancy testing of black-grass seed. HGCA Project Report No. 404.
- COOK, S. K., A. J. SWAIN, J. CLARKE, S. MOSS, Z. HUGHES, J. ORSON, L. POWELL, K. CREASEY, K. NORMAN und J. ALFORD, 2006: Improving crop profitability by using minimum cultivation and exploiting grass and weed ecology. HGCA Project Report No. 381.
- JENSEN, P. K., 2009: Longevity of seeds of four annual grass and two dicotyledon weed species as related to placement in the soil and straw disposal technique. *Weed Research* **49**, 592-601; doi: 10.1111/j.1365-3180.2009.00725.x.
- KLINGENHAGEN, G., 2012: Comparison of different black-grass populations (*Alopecurus myosuroides*, Huds.) in their susceptibility to herbicides under field conditions. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 81-87.
- LUTMAN, P.J.W. und S. R. MOSS, 2009: The management of weeds in winter cereals: the role of crop agronomy. Rothamsted Research, Harpenden, Herts AL5 2JQ.
- MENCK, B. H., 1968: Biologie des Ackerfuchsschwanzes (*Alopecurus myosuroides*, Huds.) und seine Verbreitung in Schleswig-Holstein. Institut für Phytopathologie, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- PFLANZENSCHUTZDIENST DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN, 1995-2000: Versuchsbericht Ackerbau. Ämter für ländliche Räume Husum, Kiel und Lübeck - Abteilungen Pflanzenschutz.

Sektion 4: Modellierung

Section 4: Modelling

Model for metabolic resistance against ALS inhibitors

Ein Modell für die metabolische Resistenz gegen ALS Inhibitoren

Otto Richter^{1*}, Dirk Langemann² and Roland Beffa³

¹Technische Universität Braunschweig, Institute of Geoecology, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig, Germany

²Technische Universität Braunschweig, Institute for Computational Mathematics, Pockelsstr. 14, 38106 Braunschweig, Germany

³BAYER Crop Science

*Corresponding author, o.richter@tu-bs.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.043

Abstract

Due to herbicide selection pressure metabolic resistance has evolved in many weed species. In this paper we analyse the interaction between the branched chain amino acid (BBC) pathway and detoxifying pathways for herbicide breakdown. The four phase detoxification pathway of herbicides comprising the action of P450, GST, glycosyltransferase and ABC transporter is modelled by a system of coupled enzyme kinetic reactions represented by nonlinear differential equations. The herbicide under consideration inhibits the enzyme ALS, which is the key enzyme for the biosynthesis of branched amino acids. For the kinetics of ALS a Monod approach is employed with a binding site for the inhibitor. Synthetic and detoxification pathways are coupled. The model is used to study the production of branched amino acids under the action of ALS inhibitors for different structures and modes of action of the detoxification pathway. The model is capable of generating typical dose response curves and their shift in dependence of the activity pattern of the enzymes of the detoxification pathway of the inhibitor.

Keywords: ALS inhibitor, branched chain amino acid biosynthesis, enzyme kinetics, metabolic resistance, metabolic network

Zusammenfassung

Metabolische Resistenz beinhaltet die Fähigkeit eines Organismus, toxische Substanzen abzubauen, was zu einer Verschiebung von Dosis-Wirkungskurven führt. In diesem Beitrag wird die Dynamik des Zusammenspiels der Biosynthese der verzweigt-kettigen Aminosäuren mit dem Abbauweg für einen ALS Inhibitor anhand eines mathematischen Modells untersucht. Dieses besteht aus einem System von gekoppelten enzymatischen Reaktionen, dargestellt durch nichtlineare Differentialgleichungen. Die ALS Kinetik wird durch einen Monod Ansatz beschrieben mit Pyruvat als Substrat und einer Bindungsstelle für einen nichtkompetitiven Inhibitor. Das Modell liefert typische Dosis Wirkungskurven und die Verschiebung des ED₅₀-Wertes zu höheren Dosen in Abhängigkeit vom Aktivitätsmuster des Abbauweges für den Inhibitor.

Stichwörter: ALS Inhibitor, Biosynthese von Aminosäuren, Enzymkinetik, metabolische Netzwerke, metabolische Resistenz

Introduction

Herbicide resistance has become a major issue for many weeds (BECKIE, 2006). There are two major groups of resistance mechanisms:

Alteration of the herbicide site of action (target site resistance)

Non-target site resistance comprising e.g. enhanced metabolism, sequestration and restricted translocation

Metabolic resistance can be characterized by enzymatic degradation of pesticides within the target organism (PETIT *et al.*, 2010) resulting in a gradual shift of the dose response curve (TAL *et al.*, 2000; DALY and FISK, 1992). The branched chain amino acids isoleucine, valine and leucine are

synthesized by plants, algae, fungi, bacteria and archaea (McCOURT and DUGGLEBY, 2006). The first key enzyme in the biosynthetic pathway is the acetolactate synthase (ALS, EC 4.2.1.16). Thus, ALS inhibitors such as chemicals of the sulfonylurea and imidazolinone families suppress the biosynthesis of the branched chain amino acids. In the case of metabolic resistance, the biosynthetic pathway and the detoxifying pathway of the inhibitor interact.

Material and Methods

Notations

ALS: Acetolactate synthase EC 4.1.3.18

P450: Cytochrome P450 monooxygenase

GST: Glutathion-S-transferase EC 2.5.1.18

ABC: ATP binding cassette transporter

KARI: Keto-acid-reductoisomerase EC1.1.86

DH: Dihydroxy-acid dehydratase EC4.2.1.19

TA: Transaminase EC2.6.1.42

I_1, \dots, I_4 : ALS inhibitor and its metabolites

x_1, \dots, x_5 : metabolites of isoleucine biosynthesis

y_1, \dots, y_5 : metabolites of valine biosynthesis

z_1, \dots, z_4 : metabolites of leucin biosynthesis

v_i : enzymatic law of reaction i

K_m : Michaelis constant

K_i : general: binding constants

K_{eq} : equilibrium constant

n_{ij} : elements of stoichiometric matrix

V_{max} : maximal velocity

S_i : substrate concentration

L : allosteric constant

General model framework

The dynamics of metabolic networks consisting of m substances and r enzymatic reactions is modelled by a system of differential equations for the metabolite concentrations of the form

$$\frac{dS_i}{dt} = \sum_{j=1}^r n_{ij} v_j(S_1, \dots, S_m) \quad i = 1, \dots, m \quad (1)$$

where the coefficients n_{ij} are the elements of the stoichiometric matrix and the v_j are the reaction velocities expressed by enzymatic laws which may depend on other metabolite concentrations of the network. In our model we employ the following enzymatic forms:

Michaelis Menten kinetics:

$$v_i(S) = \frac{V_i S}{K_i + S} \quad (2)$$

The index i denotes the enzyme. Reactions involving cofactors such as ATP or are assumed to be saturated with respect to the cofactors.

Monod model for one substrate and two inhibitors

This model applies to the key enzyme acetolactate synthase ALS. A Monod model for ALS kinetics was published by VINOGRADOV *et al.* (2006) and implies two active binding sites for pyruvate and

two binding sites for valine, which is one of the end product of branched chain biosynthesis. ALS is feed back regulated by valine, which acts as an inhibitor. This model was extended to a further inhibitor, a herbicide, which is assumed to have also two binding sites.

$$v_{ALS}(S, V, I) = \frac{V_{\max} \alpha(1+\alpha)}{L'(1+c_s \alpha^2) + (1+\alpha)^2}, \quad \alpha = \frac{S}{K_s}, \quad \beta = \frac{V}{K_V}, \quad \gamma = \frac{I}{K_I} \quad (3)$$

$$L' = L \frac{(1+c_v \beta)^2 (1+c_I \gamma)^2}{(1+\beta)^2 (1+\gamma)^2}$$

Figure 1 shows the ALS reaction velocity in dependence of herbicide concentrations at different levels of pyruvate.

Branched chain amino acids and detoxification pathway

The metabolic network for branched chain amino acid biosynthesis was extended to the degradation pathway of the herbicide. The latter comprises the following phases:

Phase I: Oxidation by cytochrome P450 Monooxygenase

Phase II: Glutathione conjugation catalysed by glutathione-S-transferase (GST)

Phase III: vacuolar transport by ATP binding cassette transporter (ABC) and subsequent breakdown. The combined reaction schemes are shown in figure 2.

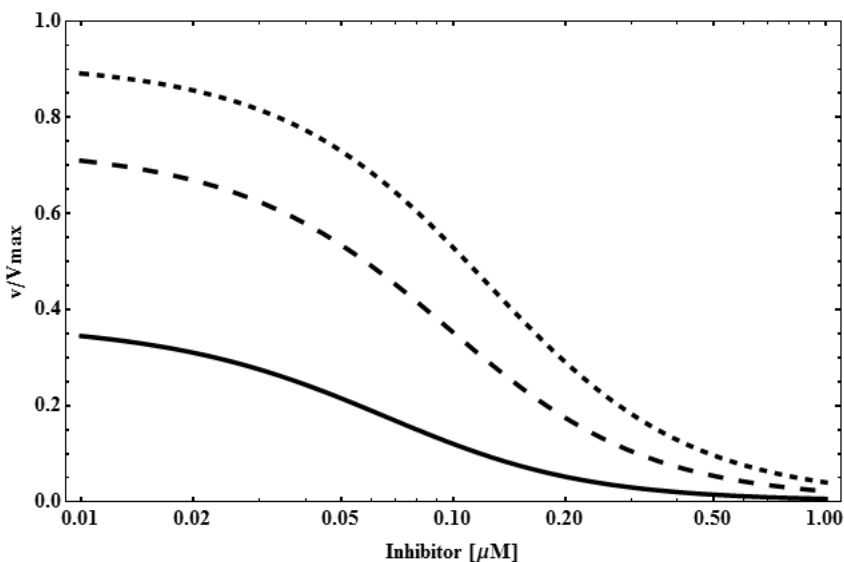


Fig. 1 Velocity of ALS dependent on inhibitor concentrations for different levels of pyruvate.

(—) 2mM pyruvate, (---) 10 mM pyruvate, (-.-) 50 mM pyruvate.

Abb. 1 ALS Kinetik in Abhängigkeit eines Inhibitors bei drei Pyruvatkonzentrationen.

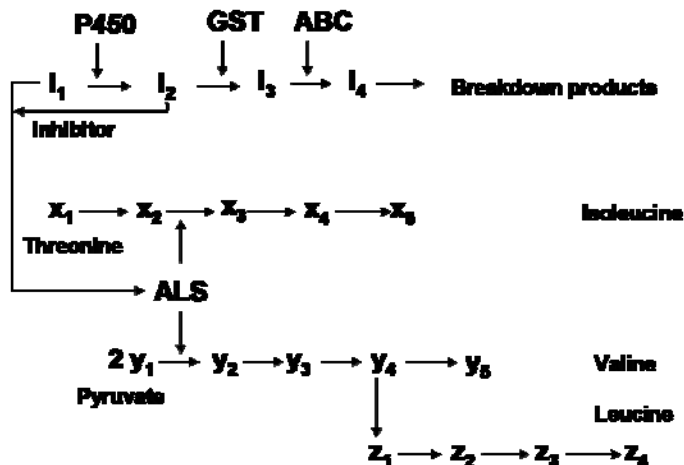


Fig. 2 Branched chain amino acid pathway and pathway for the breakdown of a ALS inhibitor. Note that phase I products may still act as inhibitor to ALS (WERCK-REICHARDT *et al.*, 2000).

Abb. 2 Syntheseweg der verzweigt-kettigen Aminosäuren ergänzt durch den Abbauweg eines ALS Inhibitors. Man beachte, dass Phase I Reaktionsprodukte noch eine inhibitorische Wirkung haben können (WERCK-REICHARDT *et al.*, 2000).

The following equations describe the dynamics of the detoxifying pathway under the assumption that the enzymes are saturated with respect to cofactors ATP and GST.

$$\frac{dI_1}{dt} = -\frac{V_{P450}I_1}{I_1 + K_p} + \sum D_i \delta(t - t_i) \quad (4)$$

Oxidation of herbicide by cytochrome P450 monooxygenase (1. term) and pulse uptake under the dosage regimen $\{D_i, t_i\}$, i. e. concentration D_i enters the system at time t_i .

$$\frac{dI_2}{dt} = \frac{V_{P450}I_1}{I_1 + K_p} - \frac{V_{GST}I_2}{I_2 + K_G} \quad (5)$$

Gluthatione conjugation of oxidized herbicide

$$\frac{dI_3}{dt} = \frac{V_{GST}I_2}{I_2 + K_G} - \frac{V_{ABS}I_3}{I_3 + K_{ABC}} \quad (6)$$

Vacuolar transport of oxidized and conjugated herbicide

$$\frac{dI_4}{dt} = \frac{V_{ABS}I_3}{I_3 + K_{ABC}} - k_b I_4 \quad (7)$$

Vacuolar breakdown

In this study we consider the valine pathway, which is modelled by the following equations system

$$\frac{dy_1}{dt} = -2v_{ALS}(y_1, I, y_5) - k' y_1 \quad (8)$$

Pyruvate: 1. term ALS reaction, 2. term unspecific consumption in other reactions

$$\frac{dy_2}{dt} = v_{ALS}(y_1, I, y_5) - v_{KARI}(y_2) \quad (9)$$

2-acetolactate

$$\frac{dy_3}{dt} = v_{KARI}(y_2) - v_{DH}(y_3) \quad (10)$$

2,3-dihydroxy-3-methylvalerate

$$\frac{dy_4}{dt} = v_{DH}(y_3) - v_{TA}(y_4) \quad (11)$$

2-ketoisovalerate

$$\frac{dy_5}{dt} = v_{TA}(y_4) \quad (12)$$

valine

The inhibitor I comprises the herbicide I_1 and the phase I product I_2 , which may also act as an inhibitor to ALS.

$$I = I_1 + a I_2 \quad (13)$$

where the factor a weighs the rest toxicity of I_2 .

Results

Single runs

The model is capable of simulating the time course of concentrations of the BBC reaction chain following the application of an ALS inhibitor. The following figures show the time courses of ALS activity and concentrations of metabolites both of the biosynthetic pathway of valine and the detoxifying pathway of the inhibitor.

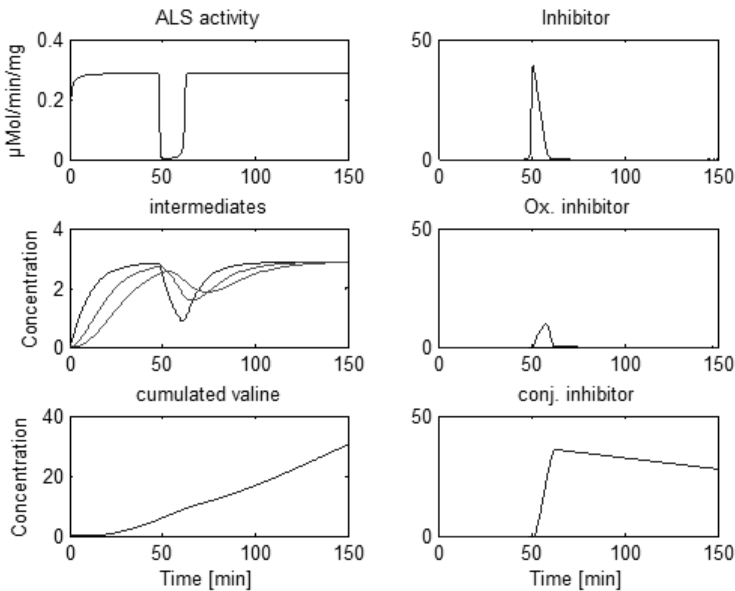


Fig. 3 Response of the valine pathway to the addition of a ALS inhibitor in the case of high metabolic resistance. The inhibitor is immediately removed and acts only a short time interval.

Abb. 3 Dynamisches Verhalten der Valin Biosynthese nach Zugabe eines ALS Inhibitors im Falle einer stark ausgeprägten metabolischen Resistenz. Der Inhibitor wird schnell abgebaut und kann nur eine kurze Zeit wirken.

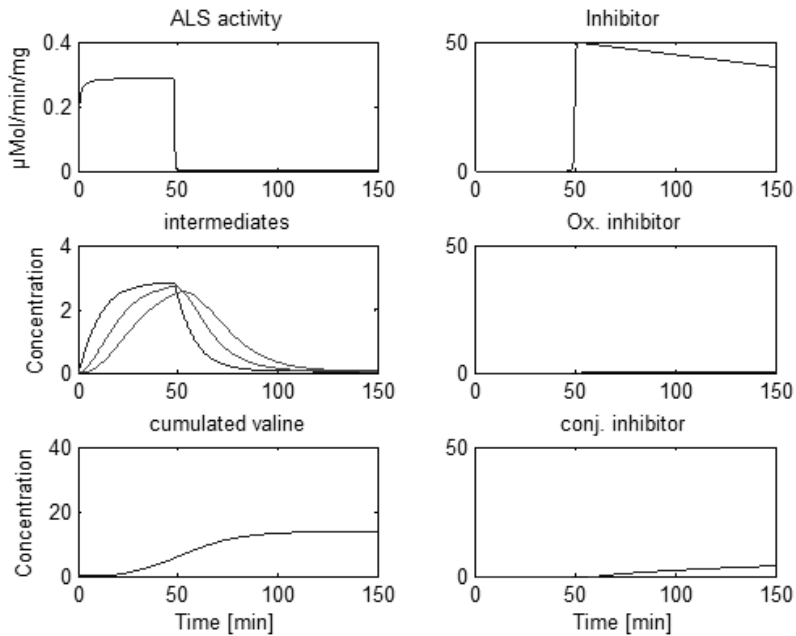


Fig. 4 Response of the valine pathway to the addition of a ALS inhibitor in the case of low metabolic resistance. Removal of the inhibitor is slow and ALS activity is prevented for a long time interval.

Abb. 4 Dynamisches Verhalten der Valin Biosynthese nach Zugabe eines ALS Inhibitors im Falle einer schwach ausgeprägten metabolischen Resistenz. Der Inhibitor wird nur langsam abgebaut und kann daher eine nachhaltige Störung des Metabolismus bewirken.

The inhibitor is added at time $t = 50$ min. Figure 3 shows time courses of concentrations of metabolites of the valine pathway together with metabolites of the herbicide degradation pathway under a high detoxifying capacity, i.e. for high V_{max} values of P450 and GST. The disruption of valine biosynthesis is only short and the system soon returns to its previous mode of action. In the case of low metabolic resistance, the damage of valine synthesis is prolonged (Fig. 4). Metabolites of the detoxifying pathway might be still toxic, which was shown to be the case for products of the P450 reaction (WERCK-REICHARDT *et al.*, 2000). To demonstrate this effect we have simulated a system with high P450 activity but with low activity of the GST reaction. As can be seen from the simulations results shown in Figure 5, the primary inhibitor soon disappears, whereas the product accumulates causing a sustained disruption of valine biosynthesis. Therefore, a fine tuning of the detoxification pathway is necessary for efficient metabolic resistance.

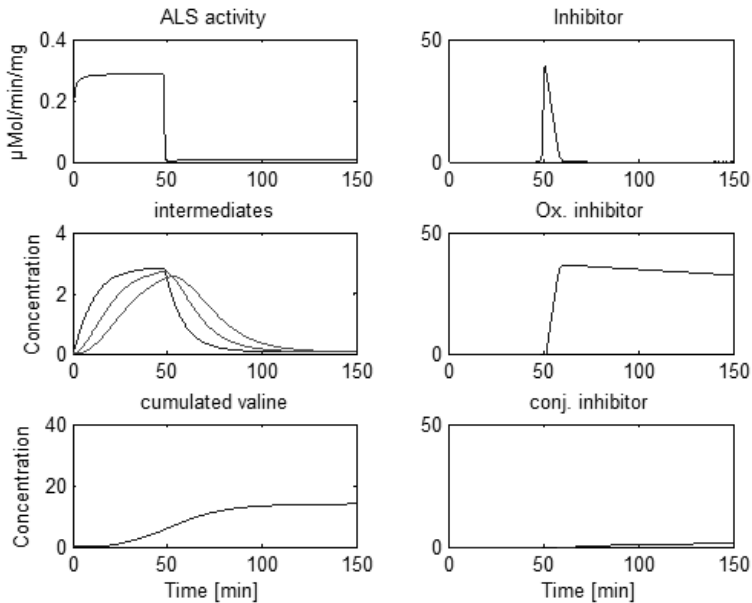


Fig. 5 Response of the valine pathway to the addition of a ALS inhibitor in the case of high P450 but low GST activity. Although the degradation of the primary inhibitor is fast, the rest toxicity of the product causes sustained disruption of the ALS reaction.

Abb. 5 Dynamisches Verhalten der Valin Biosynthese nach Zugabe eines ALS Inhibitors im Falle einer schwach ausgeprägten Aktivität des Enzyms GST. Obwohl der primäre Inhibitor schnell abgebaut wird, sorgt die Resttoxizität des Produktes für eine anhaltende Unterbrechung der ALS Reaktion.

Dose response curves

Dose response curves are obtained by performing "experiments" with the model system, i.e. the system of differential equations is solved for a large number of initial herbicide concentrations at a given pyruvate initial concentration. The response is measured as the cumulated production of valine. Response curves were generated for different activities of the detoxifying pathway expressed by the V_{max} values of P450 and GST. For each dose response curve 6000 initial value problems were solved. Some results are shown in Figure 6. Because of the (assumed) rest toxicity of the oxidized inhibitor detoxification is sensitive to the coordination of both enzymes as was also shown in the previous simulation studies presented in figures 3 to 5. The form of the simulated dose response curves are similar to measured dose response curves and can be described by the by the log-logistic model (KNEZEVIC *et al.*, 2007)

$$S(d) = \frac{1}{1 + \exp[b(\log(d) - \log(e))]} \quad (14)$$

$S(d)$ is defined as the ratio of maximum cumulated valine production (no inhibitor) and valine production under the presence of the inhibitor at concentration d , the parameter b determines the steepness of the curve and e is the ED_{50} value, i.e. $S(e)=0.5$. Figure 7 shows the fit of simulated data obtained by the model with superimposed normal error to the log-logistic model. Although the fit looks quite well with an adjusted R^2 of 0.99, one can see slight systematic deviations at higher doses.

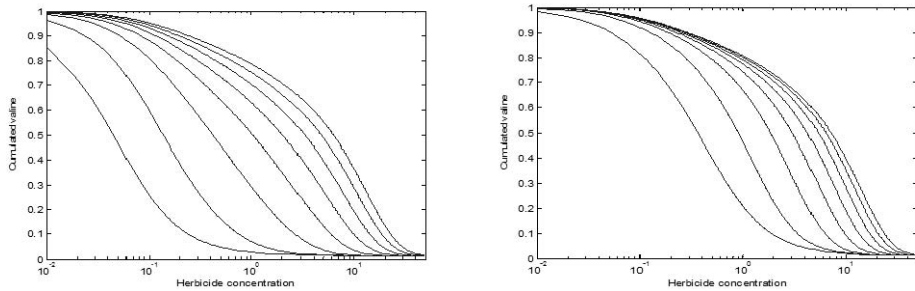


Fig. 6 Series of dose response curves for increasing activity of P450 with constant activity of GST (left) and for increasing activity of GSTs with constant activity of P450 (right).

Abb. 6 Schar von Dosis-Wirkungskurven für wachsende Aktivität von P450 bei konstanter Aktivität von GSt (links) und für wachsende Aktivität von GST bei konstanter Aktivität von P450 (rechts).

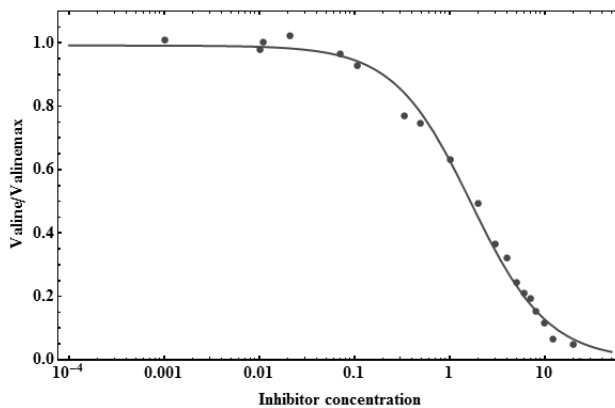


Fig. 7 Fit of simulated data with superimposed normal error to the log-logistic dose response curve.

Abb. 7 Anpassung simulierter Daten mit normal verteiltem Fehler an die log-logistische Dosis- Wirkungsfunktion.

Discussion

The model reproduces the dynamics of valine production under the influence of an ALS in a qualitative manner. It allows the study of metabolic resistance at the level of biochemical reaction pathways. The simulations show that metabolic resistance is effective if both enzymes, P450 and GST are present and act in a concerted manner. For quantitative analyses, model parameters pertaining to one organism should be available. Up to now, we have taken enzymatic parameters from the literature involving different species. Apart from a realistic parameterization the model has to be extended to incorporate also the leucine and isoleucine pathways. To analyse the evolution of metabolic resistance, the model can be integrated into a genetic model for polygenic inheritance and population genetics such as the approach of RENTON *et al.* (2011) identifying the abstract model parameters with parameters of the detoxifying pathway of the inhibitor.

References

- BECKIE, H. J., 2006: Herbicide-Resistant Weeds: Management Tactics and Practices. *Weed Technology* **20**, 793–814.
- DALY, J. C. and J. H. FISK, 1992: Inheritance of metabolic resistance to the synthetic pyrethroids in Australian *Helicoverpa armigera*. *Bulletin of Entomological Research* **82**, 5-12.
- KNEZEVIC, S. Z., J. STREIBIG and C. RITZ, 2007: Utilizing R Software Package for Dose-response Studies: The Concept and Data Analysis. *Weed Technology* **21**, 840-848.
- MCCOURT, J. A. and R. G. DUGGLEBY, 2006: Acetohydroxyacid synthase and its role in the biosynthetic pathway for branched-chain amino acids. *Amino Acids* **31**, 173-210.
- PETIT, C., B. DUHIEU, K. BOUCANSAUD and C. DÉLYE, 2010: Complex genetic control of non-target-site-based resistance to herbicides inhibiting acetyl-coenzyme A carboxylase and acetolactate-synthase in *Alopecurus myosuroides* Huds. *Plant Science* **178**, 501–509.
- POWLES, S. and Q. YU, 2010: Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annual Review of Plant Biology* **61**, 317-349.
- RENTON, M., A. DIGGLE, S. MANANLI and S. POWLES, 2011: Does cutting herbicide threaten the sustainability of weed management in cropping systems? *Journal of theoretical Biology* **283**, 14-27.
- TAL, A., E. KOTOULA-STYKA and B. RUBIN, 2000: Seed-bioassay to detect grass weeds resistant to acetyl coenzyme A carboxylase inhibiting herbicides. *Crop Protection* **19**, 467–472.
- VINOGRADOV, V., M. VYAZMENSKYA, S. ENGEL, I. BELENKYA, A. KAPLUNA, O.KRYUKOVA, Z. BARAKA and D. M. CHIPMAN, 2006: Acetohydroxyacid synthase isozyme I form *E. Coli* has unique catalytic and regulatory properties. *BBA* **1760**, 356-363.
- WERCK-REICHHART, D., A. HEHN and L. DIDIERJEAN, 2000: Cytochromes P450 for engineering herbicide tolerance. *Trends in plant science* **5**, 3, 116-123.

Modeling the development of a target site resistant *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. population – A comparison of model output and field data

Modellierung der Entwicklung einer Target-site resistenten *Apera spica-venti* Population – Ein Vergleich von Modelergebnissen und Felddaten

Janin Rummland^{1*}, Dirk Kerlen², Henning Nordmeyer³, Roland Beffa⁴ and Otto Richter¹

¹ Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie, Langer Kamp 19c, 38106 Germany, Deutschland

² Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Str. 4a, 40764 Langenfeld, Germany

³ Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig, Germany

⁴ Bayer CropScience, Weed Resistance Research, 65926 Frankfurt am Main, Germany

*Korrespondierender Autor, j.rummland@tu-braunschweig.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.044

Abstract

A population dynamic model was combined with a genetic model and embedded into a cellular automaton. The model was evaluated with data from two three year field trials which were conducted on commercial fields in Lower Saxony and Saxony where target-site resistance to acetolactate synthase (ALS) inhibitors was detected in *Apera spica-venti*. The cropping system consisted of continuous winter wheat in the trial period. On four plots different herbicide strategies were tested. These were continuous application of a soil herbicide, alternation between ALS inhibitor and soil herbicide, continuous use of an ALS inhibitor and two applications per growing season with different mode of actions (MoA). In the beginning of the trial soil samples were taken to estimate the number of viable seeds in the seed bank. This data was used to produce seed distribution maps by interpolating the estimated seed data over the field. These seed maps were then used as the initial seed bank in the model and simulations over three years were executed with the assumption of herbicide use as conducted in the field trial. A comparison of the model output with the field data showed very good analogies in the weed density. Also the development of resistance was reproduced well. The model can now be used to assess herbicide management strategies concerning the development of herbicide resistance for *A. spica-venti*.

Keywords: ALS resistance, genetical model, population dynamic model, loose silky bent

Zusammenfassung

Ein populationsdynamisches Modell wurde mit einem genetischen Modell verbunden und in einen zellularen Automaten eingebunden. Das Modell wurde mit Daten von zwei dreijährigen Feldversuchen evaluiert. Diese wurden auf Resistenzstandorten (Target-Site Resistenz gegen Acetolactat Synthase (ALS) Hemmer) in Niedersachsen und Sachsen durchgeführt. Angebaut wurde Winterweizen während des Versuchszeitraums. In vier verschiedenen Versuchsgliedern wurden unterschiedliche Herbizidstrategien untersucht. Diese waren kontinuierlicher Einsatz eines Bodenherbizids, Wechsel zwischen einem ALS-Hemmer und einem Bodenherbizid, kontinuierlicher Einsatz eines ALS-Hemmers und zwei Herbizidapplikationen mit Produkten verschiedener Wirkmechanismen innerhalb einer Vegetationsperiode. Zu Versuchsbeginn wurden Bodenproben entnommen und das Samenpotential im Boden bestimmt. Diese Daten wurden genutzt um durch Interpolation Samenverteilungskarten zu erstellen. Diese Daten wurden dann als Anfangssamenverteilung für das Modell genutzt und Simulationen über drei Jahre durchgeführt mit denselben Herbizidstrategien aus den Feldversuchen. Der Vergleich der Felddaten mit den Modellausgaben zeigte eine gute Übereinstimmung in der Unkrautdichte. Auch die Resistenzentwicklung konnte wiedergegeben werden. Das Modell kann jetzt dazu genutzt werden Herbizidmanagementstrategien in Bezug auf ihr Resistenzentwicklungspotential zu bewerten.

Stichwörter: ALS Resistenz, genetisches Modell, populationsdynamisches Modell, Windhalm

Introduction

The world population is steadily increasing and will reach nearly 10 billion in the year 2050. Therefore the cultivated area per person is decreasing and the efficiency of agricultural production needs to be increased to ensure enough food, feed and fibers. To maintain high yield herbicides are an important tool in modern agriculture, to minimize the weed competition. But herbicide use

can lead to resistant weed population, especially when using repeatedly the same herbicide or mode of action (MoA). Only a limited number of MoA's are available. For the treatment of *A. spica-venti* in cereals 8 MoA's are available in Germany (BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2013). To three of them (HRAC groups A, B and C2) resistance has already been developed (HEAP, 2013). A good resistance management is needed in intensive agriculture where weed control is sometimes exclusively depending on herbicides. Models can be useful to study the long-term dynamics of herbicide resistance development in a weed population in a short time span. In the following a model will be presented which simulates the development of target-site resistance in an *A. spica-venti* population, and data of two field trials are reported. For each trial, the resistance development was monitored over three years on four plots with different herbicide treatments. On both fields target-site resistance to an ALS inhibitor was detected before the beginning of the trial. The model output was compared to the field data from the two long-term field trials.

Material and methods

Field trial

From fall 2008 to summer 2011 two field trials were conducted in Lower Saxony and Saxony, from now on called site A and B respectively. Both *A. spica-venti* populations showed target-site resistance to sulfonylureas a subgroup of ALS inhibitors. On the two commercially used fields an area of approximately 1 ha was divided into four plots and valuation and sampling occurred on a 10 m grid in the first year and on a 6 m grid in the second and third year respectively. Winter wheat was cultivated over the three years on both fields. On the four plots different herbicide management systems were conducted (Tab. 1).

Tab. 1 Application rates and active ingredients for the four plots.

Tab. 1 Aufwandmengen und Wirkstoffgehalte für die vier Versuchsglieder.

growing season	plot 1 (soil herbicide)	plot 2 (ALS inhibitor)	plot 3 (alternation inhibitor and soil herbicide)	plot 4 (different MoA's)
2008 / 2009	Bacara Forte 1.0 l/ha Flufenacet, 120 g/l Flurtamone, 120 g/l Diflufenican, 120 g/l	Husar OD 0.1 l/ha + Mero 0.6 l/ha Iodosulfuron, 100 g/l	Husar OD 0.1 l/ha + Mero 0.6 l/ha Iodosulfuron, 100 g/l	IPU 3.0 l/ha Axial 50 1.2 l/ha Isoproturon, 500 g/l Pinoxaden, 50 g/l
2009 / 2010	Bacara Forte 1.0 l/ha Flufenacet, 120g/l Flurtamone, 120g/l Diflufenican, 120g/l	Husar OD 0.1 l/ha + Mero 1.0 l/ha Iodosulfuron, 100g/l	Bacara Forte 1.0 l/ha Flufenacet, 120g/l Flurtamone, 120g/l Diflufenican, 120g/l	Bacara Forte 1.0 l/ha Ralon super 1.2 l/ha Flufenacet, 120g/l Flurtamone, 120g/l Diflufenican, 120g/l Fenoxaprop-P-ethyl, 69g/l
2010 / 2011	Bacara Forte 1.0 l/ha Flufenacet, 120g/l Flurtamone, 120g/l Diflufenican, 120g/l	Husar OD 0.1 l/ha + Mero 1.0 l/ha Iodosulfuron, 100g/l	Husar OD 0.1 l/ha + Mero 1.0 l/ha Iodosulfuron, 100g/l	IPU 3.0 l/ha Axial 50 1.2 l/ha Isoproturon, 500 g/l Pinoxaden, 50g/l

In Table 1 the application rates and the active ingredients are listed. The aim of this design was to investigate the development of resistance under different herbicide strategies. In plot one and

four no ALS inhibitors were used over the three years. Here the development of the resistance was surveyed under the influence of a soil herbicide treatment and the application of two herbicides with different MoA's within the growing season. In plot two and three ALS inhibitors were in use. Plot two was treated with an ALS inhibitor in all three growing seasons, whereas in plot three the treatment altered with a soil herbicide. The valuation of *A. spica-venti* plant density as well as the sampling of plants was done before and after the application in every growing season. The sampled plants were analyzed for a mutation on the ALS gene at position Pro₁₉₇.

Generating seed distribution maps

In the beginning of the trial period soil samples were taken at site A at 16 grid points in plots two and four. The soil samples were taken by sampling four soil cores up to 30 cm depth around the grid points with a geological drill (Pürckhauer). At location B at 22 grid points, in plots two and four, five soil cores were taken up to 20 cm depth. The soil cores for each grid point were mixed. The different sample numbers and depths resulted from the different depths of the cultivated soil layers through the different tillage systems on both sites.

At location A the field was ploughed each year and at site B conservation tillage was conducted. To obtain enough soil at location B, one additional soil core was taken. The sampling was done to estimate the number of *A. spica-venti* seeds in the seed bank. Therefore the soil samples were laid out in the greenhouse and the germinated plants were counted and sampled to analyze them for ALS resistance. Sampling occurred only on two plots, because the first plot was already treated at the time of the sampling and it was assumed that the number of seeds in the seed bank were homogenous over the field. The number of germinated *A. spica-venti* plants was converted to viable seeds per m² at the analyzed grid points. To generate seed distribution maps for the sampled plots the data were interpolated using the kriging method (Fig. 1). The interpolation was done with the software SURFER Version 11 (Golden Software, Inc., Golden, Colorado, USA, 2013). To get kriging weights semivariograms were created and models were fitted to them (OLIVER, 2010). Variogram calculation and the model fitting were carried out by the software GS+ Geostatistics for Environmental Sciences Version 9 (Gamma Design Software, LLC, Plainwell, Michigan, USA 1989-2013).

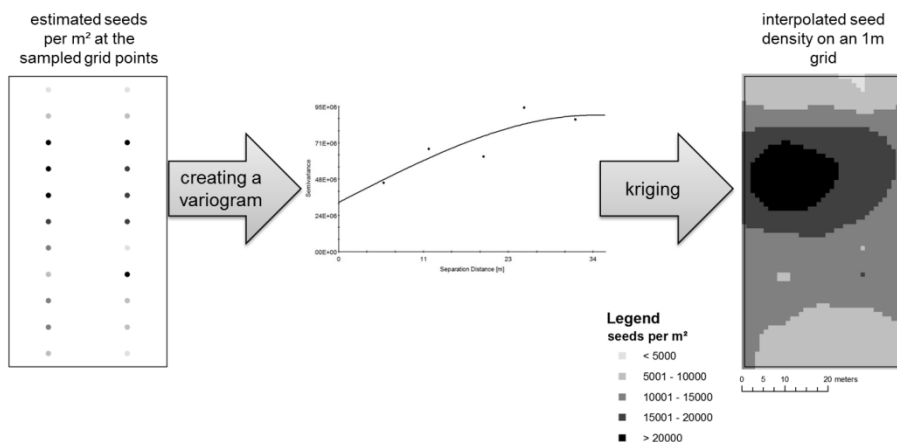


Fig. 1 Example for the creation of the seed distribution maps for one plot.

Abb. 1 Beispiel für die Erstellung der Samenausbreitungskarten für ein Versuchsglied.

Model structure

The model design was described in (RUMMLAND *et al.*, 2012). A population dynamic model was combined with a genetic model and embedded into a cellular automaton (Fig. 2). The population dynamic model is divided into 5 development stages, which are connected via transition probabilities. The three genotypes (susceptible, homozygous resistant and heterozygous resistant) are connected through the inheritance which is modeled using the Hardy-Weinberg-Law. A part of the produced seeds in the last stage are distributed into the neighboring cells. The model starts with an initial seed bank. For the initial number of seeds in the soil the previous created seed distribution maps were used. The simulated area had the same size like the plots in the field trial. The survival probability depending on the used herbicide was set for every herbicide to 5%, except for the ALS resistant individuals whose survival probability was set to 95% for the treatment with an ALS inhibitor. All parameters were set to the same values for both locations.

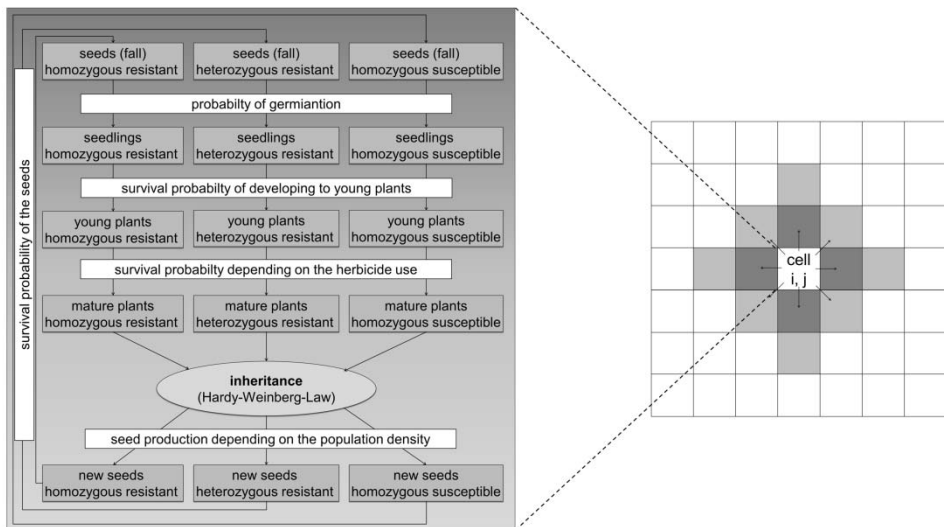


Fig. 2 Model design: a population dynamic model embedded into a cellular automaton.

Abb. 2 Modelldesign: ein populationsdynamisches Modell eingebunden in einen Zellularen Automaten.

Results

In Figures 3 and 4 the mean density of *A. spica-venti* in the field was compared to the modeled densities. For the field data the standard deviation is also shown. At both locations the field data showed an increase in *A. spica-venti* density in plots with ALS inhibitor treatment, as well as a decrease in plots without ALS inhibitor use. Furthermore the field data showed years with very high densities in all four plots compared to the other years. This is especially seen in plots with higher plant densities in the previous years. The germination seemed to be favored in this year. For location A this was the case in the third year of the trial period and location B showed high *A. spica-venti* densities in the second year. This could only be reproduced by the model through raising the value for the germination probability. In the years with elevated germination the standard deviations of the plant density data from the field are the greatest. Here the differences between model results and field data are also the greatest.

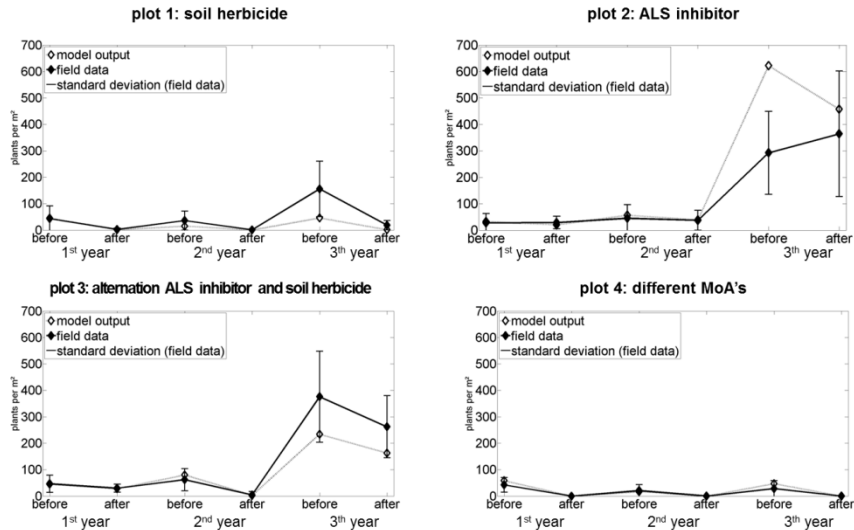


Fig.3 Comparison of the mean *A. spica-venti* density with the model output for location A.

Abb. 3 Vergleich der mittleren *A. spica-venti*-Dichte mit der Modellausgabe am Standort A.

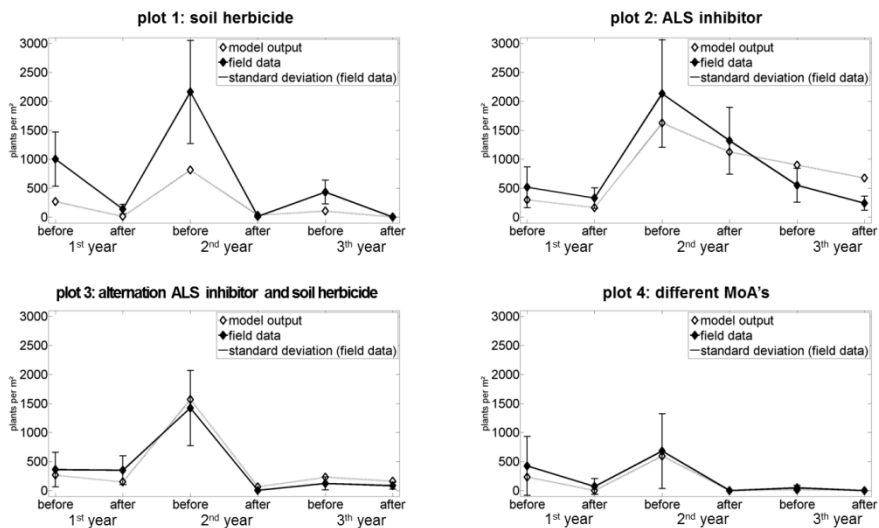


Fig. 4 Comparison of the mean *A. spica-venti* density with the model output for location B.

Abb. 4 Vergleich der mittleren *A. spica-venti*-Dichte mit der Modellausgabe am Standort B.

The highest discrepancy between field data and model output is seen in the third year before the application at location A in the plot with continuous use of an ALS inhibitor. Here the model over estimates the plant density by twice as much. But the field data showed also that the density increased slightly after the application. Probably more plants germinated after the valuation was done. A trend is not seen concerning the over or under estimation of *A. spica-venti* density. In general it can be stated that the model is capable of reproducing the *A. spica-venti* density, but only by altering the germination probability.

The development of target-site resistance in the field and in the model is shown in Figures 5 and 6. The graphs illustrate the proportion of ALS resistant and susceptible plants. The resistance development in plots with the use of ALS inhibitors was reproduced well by the model. In the model as well as in the field a reduction in susceptible plants is seen. In plots without ALS inhibitor use the model showed no changes in the proportion of susceptible plants in the population, this could not be seen in the population from the field trial. In the field the proportions of susceptible and resistant plants in plots without ALS inhibitor use are fluctuating. This could not be reproduced by the model.

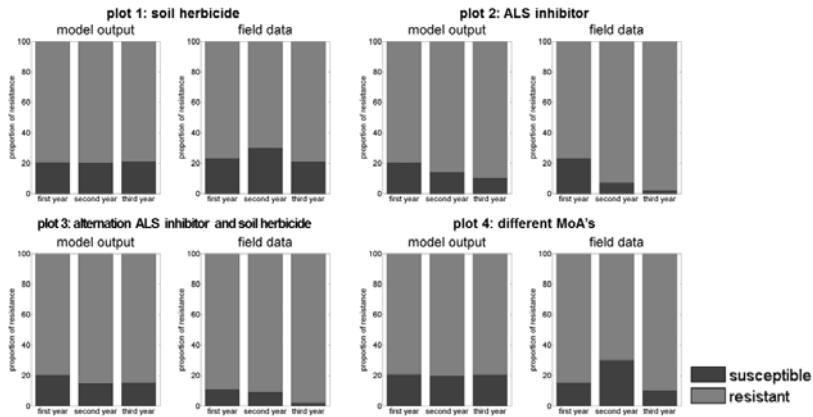


Fig. 5 Comparison of the portion of target-site resistant and susceptible *A. spica-venti* plants in the field and in the model, for location A.

Abb. 5 Vergleich des Anteils Target-Site resistenter und sensibler *A. spica-venti* Pflanzen im Feld und im Modell, für den Standort A.

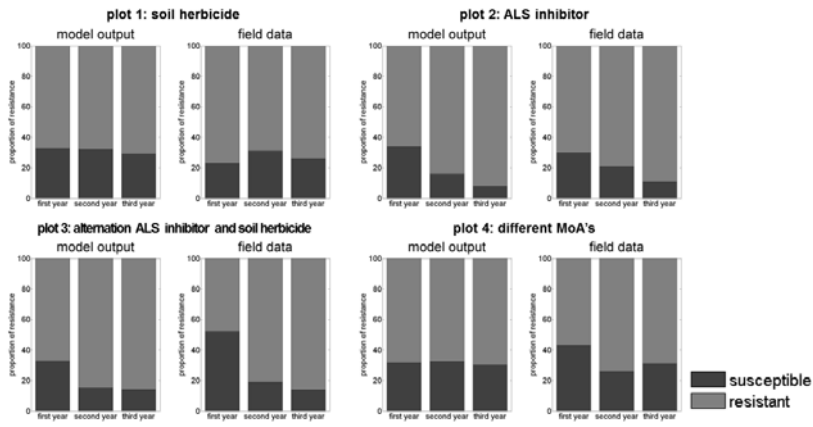


Fig. 6 Comparison of the portion of target-site resistant and susceptible *A. spica-venti* plants in the field and in the model, for location B.

Abb. 6 Vergleich des Anteils Target-Site resistenter und sensibler *A. spica-venti* Pflanzen im Feld und im Modell, für den Standort B.

Discussion

In general the model is capable of simulating *A. spica-venti* density and the development of target-site resistance. Germination varies between years. If the seed density is low in the soil this has only minor impacts on the plant density, like it is seen in Figure 3 in the graph in the bottom right-hand site (the absolute variant). In the third year the *A. spica-venti* density only exceeds slightly the densities of the previous years. In the three other plots the increase in weed density was much higher. It seems that the number of seeds have had been reduced through the effective weed control in the two years before and the thereby associated inhibition of new seed input. But if the number of seeds in the seed bank is high weed density is increasing dramatically in such years. Weather has a great influence on the germination characteristics of *A. spica-venti* (KAMPE, 1976). Wet and warm weather situations favor the germination (GERHARDS and MASSA, 2011; KRYSIAK *et al.*, 2011). Unfortunately it is not possible to predict weather conditions years in advance. So it complicates the simulations of *A. spica-venti* development into the future. Simulations of scenarios should therefore consider at least two runs with different germination probabilities, one low value and a higher probability, to get a possible range of results.

The model describes the development of ALS target-site resistance well, if the selection pressure, due to the use of an ALS inhibitor still exists. The fluctuations in the field data could not be reproduced in plots without the use of an ALS inhibitor. The survival of susceptible and resistant individuals in the field is random, if they are not resistant to the used herbicide. Perhaps a more stochastic model approach could help to reproduce the noted fluctuation.

Summarizing it can be said that the model is reproducing the field data and that it can be used to test herbicide management strategies for their resistance development potential. It is not capable of predicting exact plant densities, but trends can be predicted. It is not only applicable for *A. spica-venti*. It could also be applied for other annual weed species as long as there is enough data about the species to feed the model. Needed input data are for example seed production, germination rates, survival rates for seedlings and seed viability in the seed bank.

References

- BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2013: Pflanzenschutzmittel - Verzeichnis 2013. Teil1. Ackerbau - Wiesen und Weiden - Hopfenbau - Nichtkulturland. www.bvl.bund.de/infopsm, last accessed 23 Oct 2013.
- GERHARDS, R. and D. MASSA, 2011: Two-year Investigations on Herbicide-Resistant Silky Bent Grass (*Apera spica-venti* L. Beauv.) Populations in Winter Wheat - Population Dynamics, Yield Losses, Control Efficacy and Introgression into Sensitive Population. *Gesunde Pflanzen* **63**, 75-82.
- HEAP, I.M., 2013: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org, last accessed 28 Oct 2013.
- KAMPE, W., 1976: Zur Auflaufdynamik von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Windhalm (*Apera spica-venti*) in der Pfalz 1970 bis 1974. *Chemie Technik* **9**, 262-263.
- KRYSIAK, M., S.W. GAWROŃSKI, K. ADAMCZEWSKI and R. KIERZEK, 2011: ALS gene mutations in *Apera spica-venti* confer broad-range resistance to herbicides. *Journal of Plant Protection Research* **51**, 261-267.
- OLIVER, M.A., 2010: Geostatistical applications for precision agriculture. Springer, Dordrecht, New York.
- RUMMLAND, J., D. KERLEN, H. NORDMEYER and O. RICHTER, 2012: Modeling the development of herbicide resistance. In: H. NORDMEYER, L. ULBER (eds.): Tagungsband 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 13.-15. März 2012, Braunschweig. Proceedings, 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany, *Julius-Kühn-Archiv* **434**(1),149-154.

Simulation model for longterm management of *Avena fatua* L. in winter wheat

Simulationsmodell zur langfristigen Kontrolle von *Avena fatua* L. in Winterweizen

Ortrud Jäck^{1*}, Alexander Menegat¹, Jinwei Zhang², Hanwen Ni² and Roland Gerhards¹

¹Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin, Fachgebiet Herbologie, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart

²China Agricultural University, College of Agriculture and Biotechnology, Yuanmingyuan XiLu, 100193 Beijing, China

*Korrespondierender Autor, jaeck@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.045

Abstract

Decision support systems (DSS) are used for weed control decisions worldwide. Several DSS for weed management have been published. However they mostly rely on full herbicide dosages and do not take weed population dynamics into account. We developed a modular DSS for long-term *Avena fatua* L. control in winter wheat. The DSS was parameterized with three year field experiment datasets covering yield loss data, density-dependent population dynamics data as well as data on dose dependent herbicide efficacy and dose-dependent population dynamics. The DSS aims to control the *A. fatua* in the long run. Our hypothesis is that the optimized DSS reduces herbicide input while keeping the population density at low level, maintaining high grain yields and net return.

The DSS comprises four sub-models calculating crop yield loss, *A. fatua* population dynamics as well as dose dependent herbicide efficacy and economics of the weed control decision. The economic sub-model calculates net return in dependency of the herbicide dosage and thus the resulting crop yield.

First results of a 10-year simulation showed that herbicide input could be reduced by 40% compared to the economic threshold strategy, while the population density of *A. fatua* is controlled.

Up to now the DSS has been parameterized for the herbicides Ralon Super, Axial 50 and Broadway. The results show the great potential of reducing herbicide input and point out the importance of including population dynamics models into DSS

Keywords: Decision support system, dosage reduction, population dynamics, weed control

Zusammenfassung

Entscheidungssysteme finden weltweit Einsatz bei der Unterstützung der Unkrautkontrolle. Bisher sind einige Entscheidungssysteme verfügbar. Diese berücksichtigen in der Regel die volle Herbizidaufwandmenge und beinhalten keine Modelle zur Populationsdynamik der Unkräuter. Wir haben ein Entscheidungssystem zur langfristigen Kontrolle von *A. fatua* in Winterweizen entwickelt, welches mit 3-jährigen Feldversuchsdatensätzen zu Ertragsverlustwirkung und dichteabhängiger Populationsdynamik, sowie zu Herbizidwirkung und aufwandmengenabhängiger Populationsdynamik parametrisiert wurde. Das Entscheidungssystem zielt darauf ab, *A. fatua* langfristig zu kontrollieren. Unsere Hypothese ist, dass der Herbizideintrag mithilfe des Entscheidungssystems verringert, und gleichzeitig eine hohe Unkrautkontrollwirkung sowie ein hoher Kornertrag und Deckungsbeitrag erzielt werden kann.

Das Entscheidungssystem beinhaltet vier Untermodelle zur Berechnung von Ertragsverlusten, *A. fatua* Populationsdynamik, Herbizidwirkungen sowie zur ökonomischen Bewertung der Entscheidung zur *A. fatua*-Kontrolle. Das ökonomische Untermodell berechnet den Deckungsbeitrag in Abhängigkeit der Herbizidaufwandmenge und des daraus resultierenden Kornertrags.

Erste Ergebnisse einer Simulation über einen Zeitraum von 10 Jahren zeigten, dass der Herbizideintrag im Vergleich zur Strategie der ökonomischen Schadensschwelle um 40% verringert werden kann und gleichzeitig die *A. fatua*-Population kontrolliert wird.

Bisher wurde das Entscheidungssystem für die Herbizide Ralon Super, Axial 50 und Broadway parametrisiert. Die Ergebnisse zeigen das große Potential zur Reduzierung von Herbizidaufwandmengen und zeigen auf, wie wichtig es ist populationsdynamische Modelle in Entscheidungssysteme einzubeziehen.

Stichwörter: Aufwandmengenreduktion, Entscheidungssystem, Populationsdynamik, Unkrautkontrolle

Introduction

Several studies have shown that weed management strategies can be considerably improved when computerized expert systems, decision models and population-dynamic models are applied (WILES *et al.*, 1996). Economic weed thresholds have been determined in winter cereals to decide about the need of chemical weed control methods (NIEMANN, 1986; GEROWITT and HEITEFUSS, 1990; PALLUT, 1992; ZANIN *et al.*, 1993). There are several weed management support tools and simulation models available (e.g. BERTI and ZANIN, 1997; PANNELL *et al.*, 2004; BENJAMIN *et al.*, 2010; BELTRAN *et al.*, 2012). However some have not been calibrated to empirical datasets rather than to expert knowledge due to lack of current data. Some models include eco-physiological sub-models, making the system very complex. The former DSS PC-Plant Protection, nowadays included in the DSS Crop Protection Online, works with reduced herbicide dosages to minimize the herbicide input (RYDAHL, 1999). GONZALES-ANDUJAR *et al.* (2010 and 2011) developed AVENA-PC and LOLIUM-PC, in which herbicide application rates are also adjusted to the present weed density and thus herbicide input could be significantly reduced while maintaining yields at the same level as full-dose treatments. However, the control decision is not met in consideration of economical optimization or with regard on the population density in the following season. Furthermore, they partly observed increased seed input by weeds due to heavily reduction of application rates by about 60%. BRAIN *et al.* (1999) showed that it is possible to reduce herbicide application rates up to 20% of the recommended dosage without significant reductions of wheat yield. He linked herbicide dosage and crop yield in his model, making it possible to restrict yield losses to certain levels. However, this model did also not include the effect of reduced herbicide dosages on weed seed production, potentially leading to a population increase in the following years. It has been shown for *Avena sterilis* and other weed species, that herbicide dosage can be reduced by 50% while still achieving high control efficacy and little seed production, both being not different to the effect of full label-recommended dosage (RASMUSSEN, 1993; SCHRÖDER *et al.*, 2007; TRAVLOS, 2012).

We developed a basic modular modelling approach, which includes reduced herbicide dosages and their effect on population dynamics. The presented basic modeling approach contains sub-models for weed density dependent crop yield loss, for density dependent and herbicide dose-dependent weed population dynamics, for herbicide dose-response relationships as well as for the economic evaluation of weed management decisions. Thus the effect of weed control decisions on weed infestation of the following season can be modeled.

Field studies in winter wheat were carried out on Ihinger Hof Research Station, Baden-Württemberg, from 2009 to 2013, to assess yield loss data and population dynamic parameters for *A. fatua*. Data were analysed to find general patterns for weed biomass dependent winter wheat yield loss and *A. fatua* population dynamics to form the basis for a decision support system for *A. fatua* control in winter wheat.

Our hypothesis is that herbicide dosages can be reduced while weed infestation will not increase in the following season, due to decreased seed production by herbicide treated plants. Furthermore this herbicide dosage should guarantee an optimum economic net return.

Exemplary we modeled the effect of the economic threshold strategy beside the new model approach for comparison of *A. fatua* population development, cumulative herbicide input, yield and net return.

Material and Methods

The DSS is set up as modular system and comprises four submodels. The input variable is *A. fatua* density (*SD*), which is transformed via a linear relationship into *A. fatua* seedling biomass (*SB*), according to Eqn 1.

$$SB = a * SD \qquad \text{Eqn (1)}$$

In the herbicide efficacy submodel the residual biomass (SB_U) in dependence of the herbicide dosage (U) is calculated.

The herbicide efficacy submodel follows the two-parametric log-logistic function, where the upper limit is set to 1 and the lower limit was set to 0 (Eqn 2). The parameter e denotes the ED50 value, the dose at which herbicide efficacy is at 50%, and b denotes the slope around e (STREIBIG *et al.*, 1993). For estimating the parameters, biomass data from field experiments were normalized with respect to the data of the respective untreated control, to obtain a dimensionless response between 0 and 1.

$$SB_U = SB * (1 / (1 + \exp(b * \log(e/U)))) \quad \text{Eqn (2)}$$

The expected seed input per m^{-2} in year t (SI_{SB}^t) of the untreated *A. fatua* biomass (SB) follows the hyperbolic function, known as yield loss function (COUSENS, 1985), where C gives the initial seed input and D stands for the maximum seed input for $SB \rightarrow \infty$ (Eqn 3).

$$SI_{SB}^t = C * SB / (1 + C * SB / D) \quad \text{Eqn (3)}$$

The herbicide dose-dependent seed input in year t (SI_U^t) is given by Eqn 4, where SI_{SB}^t is multiplied with the normalized dose-dependent seed input function, corresponding to the two-parametric log-logistic function described in Eqn 2. For estimating the parameters, seed input data from the field experiments were normalized with respect to the data of the respective untreated control, to obtain a dimensionless response between 0 and 1.

$$SI_U^t = SI_{SB}^t * (1 / (1 + \exp(g * \log(h/U)))) \quad \text{Eqn (4)}$$

The soil seed bank is divided into 2 cohorts, a cohort with newly produced seeds SSB_{new}^t and a cohort SSB_{old}^t with seeds from the previous season, as proposed by COUSENS *et al.* (1986). With the information about the seed input the new seed bank cohort SSB_{new}^t was calculated, whereas the parameter p stands for seed losses via predation and s for losses via harvest (Eqn 5). For calculation of the older seed bank cohort, the parameters germination rate $v_{new/old}$ and mortality rate $m_{new/old}$ were taken into account.

$$SSB_{new}^t = SI_U^t * (1 - p) * (1 - s) \quad \text{Eqn (5)}$$

$$SSB_{old}^t = (1 - v_{old} - m_{old}) * SSB_{old}^{t-1} + (1 - v_{new} - m_{old}) * SSB_{new}^{t-1} \quad \text{Eqn (6)}$$

$$SD^{t+1} = (v_{new} * SSB_{new}^t) + (v_{old} * SSB_{old}^t) \quad \text{Eqn (7)}$$

The expected winter wheat yield in dependence of the residual *A. fatua* biomass (Y_{SB_U}) is calculated according to the yield loss model of COUSENS (1985) in the yield submodel, where the parameter I describes the initial yield loss for $SB_U \rightarrow 0$ and A describes the maximum yield loss for $SB_U \rightarrow \infty$ (Eqn 8).

$$Y_{SB_U} = Y_{wf} * (1 - I * SB_U / (1 + I * SB_U / A)) \quad \text{Eqn (8)}$$

Finally, in the economic submodel, the optimum herbicide dosages, which give the maximum winter wheat yield, was calculated by differentiating Eqn 9 with respect to U . P_y is the price per ton winter wheat, P_U the price per unit herbicide, C_1 the fixed production costs and C_2 the variable costs for herbicide application.

$$NR_{SB_U} = (P_y * Y_{SB_U}) - P_U * U - C_1 - C_2 \quad \text{Eqn (9)}$$

For the simulation model, there were two restrictions included into the model: Herbicide efficacy must be at least 90% and seedling density must not increase. Whenever there was a conflict between those two restrictions, maximum seedling density in year $t+1$ was set to the initial

seedling density of year 1. Furthermore, if SD^{t+1} will be below the economic threshold of the respective herbicide, no application will take place in year t .

For comparison of the model results, the economic threshold model was selected, in which herbicide application takes place if the economic yield loss caused by the present *A. fatua* density is higher than the costs for herbicide application. The economic threshold was calculated separately for each herbicide and was at 6 plants m^{-2} for Axial 50, at 5 plants for m^{-2} for Ralon Super and at 3 plants m^{-2} for Broadway.

For comparison of the two models, two common rules were set up: The initial herbicide treatment is the one which gives the highest net return and the herbicide rotation follows the fixed sequence Ralon® Super – Broadway™ – Axial® 50.

For direct comparison of herbicide input, herbicide rates were transformed into herbicide dosage equivalent (HDE), ranging from 0 (no herbicide application) to 1 (full dosage). Recommended field rates were 0.9 l ha^{-1} of Axial 50, 1.0 l ha^{-1} of Ralon Super and 220 g ha^{-1} of Broadway. Initial SSB_{new}^{t-1} was 70 seeds m^{-2} respectively 210 seeds m^{-2} and SSB_{old}^{t-1} was 30 respectively 90 seeds m^{-2} for initial seedling densities of 10 and 30 plants m^{-2} .

The parameterization of the DSS was based on field experiments from different sites, which were carried out from 2009 to 2013 on Ihinger Hof research station in southern Germany. These included density dependent yield loss and population dynamics experiments (2 years, 3 sites, each 3 replications) as well as herbicide dose-response experiments and herbicide dose-dependent population dynamics experiments with the herbicides Axial 50, Ralon Super and Broadway (1 year, 2 sites, each 3 replications). In the yield loss experiments *A. fatua* seeds were sown in 5 different densities into the field after sowing of winter wheat. At the 2-leaf-stage of *A. fatua* 0.5 m^2 of each plot were harvested to determine *A. fatua* density and seedling biomass. At time of *A. fatua* termination 0.5 m^2 were harvested to determine the amount of panicles and additional five plants were harvested for determination of seed production. Winter wheat was harvested with a plot combine for yield determination. In the dose-response experiments *A. fatua* seed were sown in equal densities into the plots after sowing of winter wheat. In the 2-leaf-stage of *A. fatua* herbicides were applied at different dosages (100%, 75%, 50%, 37.5%, 25%, 12.5% and 0% of the recommended field rate) with a plot sprayer and a volume of 200 l ha^{-1} . Four weeks after herbicide application 0.5 m^2 were harvested from each plot to determine the residual biomass of *A. fatua*. At time of *A. fatua* termination population dynamics parameters were determined in an area of 0.5 m^2 .

Parameters from Eqns 5 and 6 are taken from COUSENS *et al.* (1986) and from Eqn 9 from expert's knowledge. We assumed fixed germination, mortality and predation rates due to the reason that they can highly vary between different environments and are influenced by different factors (MICKELSON and GREY, 2006; DAVIS *et al.*, 2013).

An overview on the values of the different parameters used in the model is given in Table 1.

Tab. 1 Overview on the parameter values used in the model.**Tab. 1** Übersicht über die im Modell verwendeten Parameterwerte.

Submodel	Eqn	Herbicide	Parameter	Value	Unit	
Biomass transformation	1		a	0.29		
Herbicide efficacy submodel	2	Ralon Super (fenoxaprop-P-ethyl)	U	0-1	l ha ⁻¹	
			b	1.846		
			e	0.064	l ha ⁻¹	
		Axial 50 (pinoxaden)	U	0-0.9	l ha ⁻¹	
			b	2.498		
			e	0.147	l ha ⁻¹	
	Broadway (florasulam + pyroxsulam)	U	0-220	g ha ⁻¹		
		b	0.622			
		e	3.004	g ha ⁻¹		
	Population dynamics submodel	3		C	231.03	
			D	11329.16		
4		Ralon Super	g	4.2		
			h	0.109	l ha ⁻¹	
		Axial 50	g	2.878		
			h	0.13	l ha ⁻¹	
5		Broadway	g	1.079		
			h	14.066	g ha ⁻¹	
		6		p	0.1	
				s	0.1	
Yield loss submodel	8		Yw _f	7	t ha ⁻¹	
			I	0.02		
			A	0.558		
			Py	200	€ t ⁻¹	
			C1	550	€	
			C2	10	€	
	9	Ralon Super	P _u	21.5	€ l ⁻¹	
		Axial 50	P _u	36.46	€ l ⁻¹	
		Broadway	P _u	0.059	€ g ⁻¹	

Results

Results of the field experiments showed that seed production as well as residual biomass of *A. fatua* decreased in a log-logistic manner with increasing herbicide dosage. This was found for Axial 50, Ralon Super (Fig. 1) and Broadway. Axial 50 and Ralon Super showed very high efficacies. Application rates of both Axial 50 and Ralon Super could be reduced to 50% (0.45 respectively 0.5 L ha⁻¹) while no seeds were produced. Even at 37.5% of the recommended field rate of Axial 50 and 25% of Ralon Super, *A. fatua* seed production was very low. If treated with Broadway, *A. fatua* produced seeds even at the highest recommended field rate.

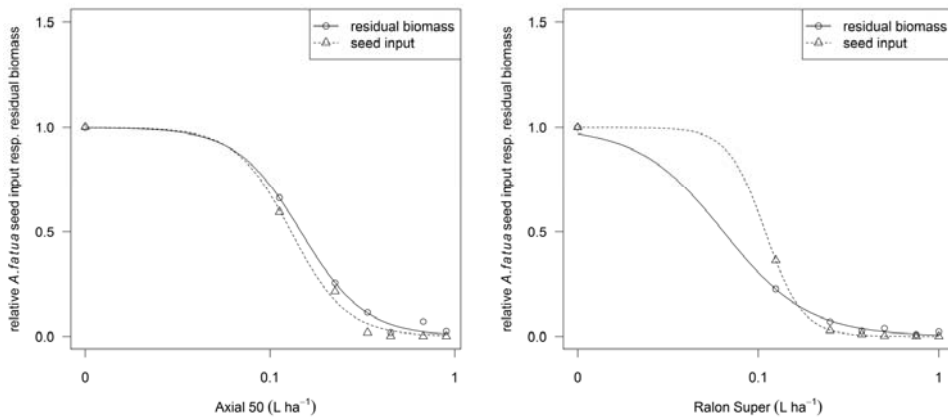


Fig. 1 Relative seed input and residual biomass of *A. fatua* in dependency of the dosage of Axial 50 (left) and Ralon Super (right).

Abb. 1 Relativer Sameneintrag und relative Restbiomasse von *A. fatua* in Abhängigkeit der Aufwandmengen von Axial 50 (links) und Ralon Super (rechts).

Results of our simulation model revealed a high potential for reducing herbicide rates for *A. fatua* control. Seedling densities steadily decreased over the 10 years period due to low seed input, while herbicide application rates were kept at low levels (Tab. 2). HDEs were 0.21 and 0.32 for Ralon Super, 0.354 for Axial 50 and 0.46 for Broadway for an assumed initial seedling density of 10 plants m⁻². For an assumed initial seedling density of 30 plants m⁻² the required herbicide input was similar. HDEs were 0.21 to 0.48 for Ralon Super, 0.39 and 0.40 for Axial and 0.46 for Broadway. Cumulative HDE was 3.29 and 3.48 for initial seedling densities of 10 and 30 plants m⁻² over a supposed time period of ten years. This is a reduction in herbicide input of about 50% compared to the economic threshold strategy, where in 7 out of 10 years herbicides were applied at full rates (cumulative HDE=7) (Tab. 3). When applying the economic threshold strategy, population densities climbed up after the seasons, where seedling densities were below the economic threshold, due to high seed input of not controlled *A. fatua* plants. Cumulative grain yield and net return were similar for both strategies.

Tab. 2 Results of the simulation model over a time period of 10 years for initial *A. fatua* seedling densities of assumed 10 and 30 plants m^{-2} respectively.

Tab. 2 Ergebnisse des Simulationsmodells für einen Zeitraum von 10 Jahren für eine angenommene *A. fatua* Ausgangsdichte von 10 bzw. 30 Pflanzen m^{-2} .

Simulation model								
Year	Seedling density [m^{-2}]	Herbicide	Dosage ha^{-1}	[l/g	HDE	Yield [$t ha^{-1}$]	Net return [$€ ha^{-1}$]	Seed Input [m^{-2}]
1	10	RalonSuper	0.32		0.32	6.98	829	6.8
2	3.6	Broadway	102.94		0.46	6.98	831	24.8
3	3	Axial50	0.354		0.39	6.98	825	10.3
4	1.7	RalonSuper	0.21		0.21	6.99	834	6.9
5	1.1	Broadway	102.94		0.46	7.00	833	7.4
6	0.9	-	0		0	6.96	843	60.5
7	5.2	Axial50	0.354		0.39	6.98	823	17.9
8	3.1	RalonSuper	0.21		0.21	6.99	833	12.4
9	1.9	Broadway	102.94		0.46	6.99	832	13.2
10	1.6	Axial50	0.354		0.39	6.99	826	5.7
Σ					3.29	69.84	8309	

Year	Seedling density [m^{-2}]	Herbicide	Dosage ha^{-1}	[l/g	HDE	Yield [$t ha^{-1}$]	Net return [$€ ha^{-1}$]	Seed Input [m^{-2}]
1	30	RalonSuper	0.478		0.48	6.97	824	3.5
2	9.5	Broadway	102.94		0.46	6.96	826	63
3	7.5	Axial50	0.359		0.4	6.97	821	24.5
4	4.26	RalonSuper	0.23		0.23	6.99	832	11.6
5	2.2	Broadway	102.94		0.46	6.99	832	15
6	1.8	Axial50	0.354		0.39	6.99	826	6.4
7	1.1	RalonSuper	0.21		0.21	7.00	835	4.3
8	0.7	Broadway	102.94		0.46	7.00	833	4.6
9	0.6	-	0		0	6.98	845	37.8
10	3.2	Axial50	0.354		0.39	6.99	824	11.3
Σ					3.48	69.84	8298	

Discussion

Already existing models showed that reduction of herbicide rates is possible without affecting crop yield (BRAIN *et al.*, 1999; GONZALES-ANDUJAR *et al.*, 2010 and 2011). However the reduced rates often resulted in a population density increase. With our experimental data sets we could show, that reduced herbicide rates lead to decreased seed production of *A. fatua*. At higher dosages of Ralon Super and Axial *A. fatua* produced even no seeds. This is only true for application timing at the two-leaf stage. Efficacy and thus seed production may be influenced by later application timing. By including these functions into a simulation model, we could simulate that it is possible

to reduce herbicide rates, while keeping the population density at low levels over a period of 10 years. Compared to the economic threshold strategy, which also aims to reduce herbicide input, herbicide rates could be reduced by 50% without economical disadvantages. The population density decline between two years was partly very high which can be explained by the high mortality rates assumed by COUSENS *et al.* (1986) and which have been used for this model. However these rates are similar to those published by MICKELSON and GREY (2006), where mortality rates ranged from 15 to 88% leading to a high annual decline in the *A. fatua* seed bank.

Tab. 3 Results of the economic threshold strategy over a time period of 10 years for initial *A. fatua* seedling densities of 10 and 30 plants m⁻² respectively.

Tab. 3 Ergebnisse der Ökonomischen Schadensschwelen-Strategie für einen Zeitraum von 10 Jahren und einer *A. fatua* Ausgangsdichte von 10 bzw. 30 Pflanzen m⁻².

Economic threshold									
Year	Seedling density [m ⁻²]	Herbicide	Dosage ha ⁻¹]	[l/g	HD E	Yield [t ha ⁻¹]	Net return [€ ha ⁻¹]	Seed Input [m ⁻²]	
1	10	Broadway	220		1	6.97	822	31	
2	5.6	-	0		0	6.79	807	361	
3	30.8	Axial50	0.9		1	6.99	805	6.6	
4	10.6	RalonSuper	1		1	7.00	818	0.1	
5	2.7	-	0		0	6.89	829	177.8	
6	15.1	Broadway	220		1	6.96	819	45.4	
7	8.6	Axial50	0.9		1	7.00	806	2.1	
8	2.6	-	0		0	6.9	829	172.3	
9	14.6	RalonSuper	1		1	7.00	818	0.1	
10	4.8	Broadway	220		1	6.99	824	15.2	
Σ					7	69.49	8177		

Year	Seedling density [m ⁻²]	Herbicide	Dosage ha ⁻¹]	[l/g	HD E	Yield [t ha ⁻¹]	Net return [€ ha ⁻¹]	Seed Input [m ⁻²]	
1	30	RalonSuper	1		1	6.99	817	0.2	
2	9.2	Broadway	220		1	6.98	822	28.6	
3	4.6	-	0		0	6.82	814	301	
4	25.7	Axial50	0.9		1	6.99	805	5.7	
5	8.8	RalonSuper	1		1	7	818	0.1	
6	2.3	-	0		0	6.91	832	148.8	
7	12.6	Broadway	220		1	6.97	820	38.5	
8	7.2	Axial50	0.9		1	7	807	1.8	
9	2.2	-	0		0	6.91	833	145.7	
10	12.3	RalonSuper	1		1	7	818	0.1	
Σ					7	69.57	8186		

The simulation model has been parameterized only for *A. fatua* to demonstrate the possibilities of including herbicide efficacy-based population dynamics into a decision support system. Since the efficacy of the herbicides on other weeds may differ, reduced application rates should be adjusted with respect to the weed species which shows the lowest susceptibility to the respective herbicide. Reducing herbicide application rates is often criticized with respect to the development of herbicide resistant biotypes. RENTON *et al.* (2013) simulated the influence of reduced rates on the development of monogenic and polygenic resistance in annual ryegrass with an individual-based model and showed with their simulation results, that reduced rates may fasten the development of polygenic resistance under certain circumstances. However, they also mentioned that it is not clear yet in which situations it will really make a difference in the field, due to many influencing factors. With economic threshold strategy it is more likely to select for target-site resistance, due to a high selection pressure given by high dosages. In contrast, with the strategy of our simulation model one may argue it selects on polygenic non-target site resistance due to reduced rates. The simulation model keeps the soil seedbank and thus the genetic variation constantly small with an average yearly seed input of around 18 seed m⁻². This withdraws one important prerequisite for resistance development: a large population size (BARTON, 2010; DÉLYE *et al.*, 2013), in contrast to the economic threshold strategy, which leads to a higher average annual seed input (around 75 seeds m⁻²) and especially to a sharp increase in the soil seedbank after not-spraying, giving a more favourable basis for resistance development in terms of a large population size.

This simulation model shows the great potential of minimizing herbicide input while controlling the population density in the long run. The results point out the importance of including population dynamics into a decision support system.

References

- BARTON N., 2010: Understanding adaption in large populations. *PLoS Genet.* **6**, e1000987.
- BELTRAN, J. C., D. J. PANNEL, G. J. DOOLE and B. WHITE, 2012: A bioeconomic model for analysis of integrated weed management strategies for annual barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* complex) in Philippine rice farming systems. *Agr. Sys.* **112**, 1-10.
- BENJAMIN, L. R., A. E. MILNE, D. J. PARSONS and P. J. W. LUTMAN, 2010: A model to simulate yield losses in winter wheat caused by weeds, for use in a weed management decision support system. *Crop Prot.* **29** (11), 1264 – 1273.
- BERTI, A. and G. ZANIN, 1997: GESTINF: a decision model for post-emergence weed management in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Crop Prot.* **16** (2), 109-116.
- BRAIN, P., B. J. WILSON, K. J. WRIGHT, G. P. SEEVERS and J. C. CASELEY, 1999: Modelling the effect of crop and weed on herbicide efficacy in wheat. *Weed Res.* **39** (1), 21- 35.
- COUSENS, R., 1985: A simple model relating yield loss to weed density. *Annals of Applied Botany* **107**, 239-252.
- COUSENS, R., C. J. DOYLE, B. J. WILSON and G. W. CUSSANS, 1986: Modelling the Economics of Controlling *Avena fatua* in Winter Wheat. *Pestic. Sci.* **17** (1), 1-12.
- DAVIS, A.S., E.C. TYLOR, E.R. HARAMOTO and K.A. RENNER, 2013: Annual postdispersal weed seed predation in contrasting field environments. *Weed Sci.* **61** (2), 296-302.
- Délye, C., M. Jasieniuk and V. Le Corre, 2013: Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends Genet.* **29** (11),649-658.
- GEROWITT, B. and R. HEITEFUSS, 1990: Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. *Crop Prot.* **9** (5), 323-331.
- GONZALES-ANDUJAR, J. L., C. FERNANDEZ-QUINTANILLA, F. BASTIDA, R. CALVOS, L. GONZALES-DIAZ, J. IZQUIERDO, J.A. LEZAUN, F. PEREA, M.J. SANCHEZ DEL ARCO and J.M. URBANO, 2010: Field evaluation of a decision support system for herbicidal control of *Avena sterilis* ssp. *Ludoviciana* in winter wheat. *Weed Res.* **50** (1), 83-88.
- GONZALES-ANDUJAR, J.L., C. FERNANDEZ-QUINTANILLA, F. BASTIDA, R. CALVOS, J. IZQUIERDO and J. A. LEZAUN, 2011: Assessment of a decision support system for chemical control of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) in winter cereals. *Weed Res.* **51** (3), 304-309.
- MICKELSONS, J.A. and W.E. GREY, 2006: Effect of soil water content on wild oat (*Avena fatua*) seed mortality and seedling emergence. *Weed Sci.* **54** (2), 255-262.
- NIEMANN P., 1986: Mehrjährige Anwendung des Schadensschwellenprinzips bei der Unkrautbekämpfung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb. (Using economic weed thresholds over several years in practical farm fields) EWRS Symposium Economic Weed Control, 385-392.
- PALLUT, B., 1992: Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit von unkrautbedingten Kornertragsverlusten bei Wintergetreide. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue XIII*, 129-137.
- PANNELL, D. J., V. STEWART, A. BENNETT, M. MONJARDINO, C. SCHMIDT and S. B. Powles, 2004: RIM: a bioeconomic model for integrated weed management of *Lolium rigidum* in Western Australia. *Agr. Sys.* **79** (3), 305- 325.

- RASMUSSEN, I. A., 1993: Seed production of a mixture of two *Polygonum* species at normal to very low herbicide doses. In: Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Weeds **3**, 281-286.
- Renton, M., A. Diggle, S. Manalil and S. Powles, 2011: Does cutting herbicide rates threaten the sustainability of weed management in cropping systems? *J. Theor. Biol.* **283**, 14-27.
- RYDAHL, P., 1999: Optimising mixtures of herbicides within a decision support system. In: Proceedings of The Brighton Conference – Weeds **3**, 761-766.
- SCHROEDER, G., E. MEINLSCHMIDT, H. BAER, E. BERGMANN and I. PITTOF, 2007: Der gezielte Einsatz von reduzierten Aufwandmengen herbizider Tankmischungen in Mais – ein Beitrag zur Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der landwirtschaftlichen Praxis. *Gesunde Pflanze* **59** (3), 127-139.
- STREIBIG, J. C., M. RUDEMO and J. E. JENSEN, 1993: Dose-response curves and statistical models. In: *Herbicide Bioassays*. STREIBIG, J.C. and P. KUDSK, Boca Raton, *CRC*, 29-55.
- TRAVLOS, I. S., 2012: Reduced herbicide rates for an effective weed control in competitive wheat cultivars. *Int. J. Plant Prod.* **6** (1), 1-14.
- WILES, L. J., R. P. KING, E. E. SCHWEIZER, D. W. LYBECKER and S. M. SWINTON, 1996: GWM: general weed management model. *Agr. Sys.* **50** (4), 355-376.
- ZANIN, G., A. BERTI and L. TONIOLO, 1993: Estimation of economic thresholds for weed control in winter wheat. *Weed Res.* **33** (6), 459-467.

DSSHerbicide: Feldversuche zur Unkrautbekämpfung im Winterweizen – was bringt der Einsatz eines Entscheidungshilfesystems?

DSSHerbicide: Herbicide field trials in winter wheat. What is the good of this?

Friederike de Mol*, Robert Fritzsche und Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Abteilung Phytomedizin,
Satower Straße 48, 18059 Rostock, Deutschland

*Korrespondierender Autor, friederike.de-mol@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.046

Zusammenfassung

Bei der chemischen Unkrautbekämpfung im Ackerbau ist die Wahl der Herbizide und ihrer optimalen Aufwandmengen eine große Herausforderung, da die Auswahl an geeigneten Herbizidmischungen groß ist und die ökonomischen Folgen schwer abzuschätzen sind. DSSHerbicide ist ein computergestütztes Entscheidungshilfesystem, das kostengünstige Bekämpfungsmaßnahmen errechnet. Es wurde auf Grundlage des dänischen Systems Crop Protection Online mit deutschen Herbizid- und Unkrautdaten auf deutsche Verhältnisse angepasst. In den Jahren 2011 und 2012 wurden in Mecklenburg-Vorpommern vierzehn Herbizidversuche auf konventionellen Winterweizenschlägen mit unterschiedlicher Unkrautdichte angelegt, um den Prototypen des Systems zu testen. Neben der HerbizidAuswahl, die DSSHerbicide vorschlug, wurden die Bekämpfungsvorschläge von privaten Beratern, dem amtlichen Warndienst und Landwirten umgesetzt. Die Entscheidungsvarianten wurden in den Parametern ausgewählte Herbizide, Herbizidkosten, Behandlungsindex, Restverunkrautung und Weizenertrag untersucht. Weder in den Herbizidkosten, noch im Behandlungsindex oder im Weizenertrag wurden zwischen dem Entscheidungshilfesystem einerseits und den Expertenvarianten andererseits signifikante Unterschiede gefunden. Die Restverunkrautung war im Mittel in den Varianten der Bekämpfung nach DSSHerbicide signifikant höher als in den Varianten des Warndienstes. Das führte in der Tendenz zu höheren Erträgen in der Warndienstvariante, die sich statistisch aber nicht absichern ließen. In den Herbizidkosten und dem Behandlungsindex fiel eine höhere Streuung der Werte des DSSHerbicide zwischen den Versuchsstandorten auf. Eine höhere Korrelation zwischen der Dichte der Ausgangsverunkrautung und den Herbizidkosten in der DSSHerbicide Variante als in den Expertenvarianten lässt auf eine schlagspezifische Herbizidempfehlung durch das Entscheidungshilfesystem schließen. Der DSSHerbicide Prototyp arbeitete mit einer eingeschränkten Auswahl an Herbiziden. Da die Empfehlungen des Systems sich in den vierzehn Feldversuchen als robust erwiesen, wird es sich lohnen, die beratene Herbizidpalette zu erweitern.

Stichwörter: Crop Protection Online, Herbizid, Unkrautbekämpfung

Abstract

To choose herbicides and their optimal dosages is a great challenge in chemical weed control in arable crops, because the choice of possible herbicide mixtures is big and economic consequences are hardly estimated. DSSHerbicide is a computer aided decision support system calculating cost-saving weed control measures. It is adapted to German conditions from the Danish Crop Protection Online system with German herbicide and weed data. To test the prototype of the system, fourteen herbicide trials were installed at conventional winter weed fields with differing weed densities in 2011 and 2012. Apart from the herbicide selection of DSSHerbicide recommendations from private advisers, official advisory service and farmers were implemented as test variables. The different ways of decision-making were investigated with the parameters chosen herbicides, herbicide costs, treatment frequency index, weeds left after treatments and wheat yield. Neither in herbicide costs, nor in treatment frequency index nor in yield significant differences between the decision support system on the one side and the expert advices on the other side were found. Biomass of weeds after treatments was significantly higher in the DSSHerbicide plots than in the plots of the official advisory service. In tendency, but not significantly, this led to higher yields in the plots of the official advisory service. Variation in herbicide costs and treatment frequency indices between the field trials was highest in the DSSHerbicide plots. A higher correlation of weed density before control and herbicide costs in the DSSHerbicide plots than in the expert plots indicates a field specific herbicide advice by the DSSHerbicide. The prototype worked with a limited number of implemented herbicides. Since herbicide advices of the decision support system were robust over the fourteen field trials, it will be worth implementing more herbicides in the system.

Keywords: Crop Protection Online, herbicide, weed control

Einleitung

Der Einsatz von Herbiziden zur Unkrautbekämpfung gehört in der konventionellen Winterweizenproduktion in Deutschland zu den Standardmaßnahmen. Das zeigen die Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis, die im Rahmen des nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (BMELV, 2008) im Vergleichsbetriebsnetz Ackerbau erhoben wurden: im Jahr 2011 wurden in Deutschland im Winterweizen im Mittel 1,7-mal Herbizide appliziert (ROSSBERG, 2013).

Daraus folgt, dass Landwirte standardmäßig im Anbaujahr meist mehrmals taktische Entscheidungen zum Herbizideinsatz treffen. Dabei sind multiple Kriterien zu berücksichtigen. So muss neben den ökonomischen Auswirkungen des Herbizideinsatzes – Kosten und Mehrerlös durch verringerte Unkrautkonkurrenz, leichtere Ernte und bessere Produktqualität – die potentielle Samenproduktion der Unkräuter berücksichtigt werden, die die Wirtschaftlichkeit der Folgekultur und somit der gesamten Fruchtfolge beeinflusst (VAN DEN BERG *et al.*, 2010). Der Entwicklung von Herbizidresistenz soll mit dem Herbizidmanagement ebenfalls entgegengewirkt werden. Ästhetische Aspekte können von Landwirten ebenso in Betracht gezogen werden wie ökologische Folgen des Herbizideinsatzes. Nicht zuletzt muss die Bekämpfungsmaßnahme terminlich in die Betriebsabläufe eingepasst werden. Diesen zahlreichen Kriterien steht eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten gegenüber. In Deutschland sind 214 Herbizide im Winterweizen zugelassen (BVL, 2013), die mit beliebig reduzierten Aufwandmengen und auch gemischt oder in Spritzfolgen eingesetzt werden dürfen.

Seit Mitte der 80er Jahre Rechnerleistung verfügbar wurde, wurden zahlreiche computergestützte Entscheidungshilfesysteme für den Herbizideinsatz entwickelt. Im einem europäischen ENDURE Projekt sind allein neun europäische Entscheidungshilfesysteme verglichen worden (RYDAHL *et al.*, 2008). Sie berücksichtigen nicht alle oben angesprochenen Kriterien – z.B. ist den Autoren noch kein Entscheidungshilfesystem bekannt, das Resistenzenmanagement berücksichtigt – aber zeigen zumindest in Teilbereichen, meist der Wirtschaftlichkeit in der aktuellen Kultur, optimale Herbizidtaktiken auf (z. B. BERTI *et al.*, 2003). Auch Entscheidungshilfesysteme, die die Fruchtfolge mit einbeziehen, wurden entwickelt (BENJAMIN *et al.*, 2009).

Trotz der Vielzahl der entwickelten Systeme werden diese Entscheidungshilfen von Landwirten relativ selten genutzt (JØRGENSEN *et al.*, 2007). Wahrscheinlich ist das dänische Crop Protection Online, das heute ca. 1.000 Abonnenten nutzen, das am besten etablierte System. In einem EU South Baltic Projekt wurde dieses System für die Unkrautbekämpfung im Winterweizen unter nordostdeutschen Anbauverhältnissen in einem Prototyp, d.h. mit eingeschränkter Mittelpalette und Unkrautartenzahl, angepasst. Somit steht ein Tool zur Verfügung (www.dssherbicide.eu), mit dem in Nordostdeutschland getestet werden kann, ob sich die Nutzung von Entscheidungshilfesystemen für den Landwirt lohnt.

Dem DSSHerbicide Prototypen CPOStandard (DSSHerbicide) liegt die Annahme zugrunde, dass durch Nutzung gesicherter Dosis-Wirkungsbeziehungen ein Teil der Herbizide eingespart werden kann, ohne dass es zu Ertragsseinbußen und inakzeptabler Samenproduktion kommt. Dabei kann eine Restverunkrautung toleriert werden. Die Zielgröße des Optimierungsalgorithmus sind die Herbizidkosten. Es wird davon ausgegangen, dass mit sinkenden Kosten auch die Herbizidintensität sinkt und somit ein ökologischer Zusatznutzen erreicht wird.

In diesem Beitrag werden die Hypothesen getestet, dass bei Nutzung des DSSHerbicide im Vergleich zu Herbizidentscheidungen von Experten

- a) die Kosten der Herbizidanwendungen geringer sind,
- b) der Behandlungsindex (BI) als Maß für die Herbizidintensität ebenfalls geringer ist,
- c) die Biomasse, die die Unkräuter nach Abschluss der Herbizidmaßnahmen gebildet haben, größer ist,
- d) die Winterweizenerträge nicht geringer sind.

Material und Methoden

Versuchsdesign

In den Anbaujahren 2011/12 und 2012/13 wurden in Mecklenburg-Vorpommern an je sieben Standorten auf konventionellen Winterweizenschlägen Herbizidversuche nach EPPO-Standards (EPPO, 2007) mit einer unbehandelten Kontrolle angelegt. Die Versuchsanlagen waren Blockanlagen mit vier Wiederholungen. Die Parzellen waren 2,5 m breit und je nach Fahrgassenabstand auf dem Weizenschlag, zwischen 7,5 m und 10,5 m lang, sodass sich Parzellenflächen von 18,75 m² bis 26,25 m² ergaben. Es wurden verschiedene Prototypen von Entscheidungshilfesystemen getestet. Hier wird der Prototyp CPOStandard („DSS“) betrachtet, der in der Struktur und den Entscheidungsregeln dem dänischen Crop Protection Online entspricht. Er enthielt zur Zeit der Versuche Daten zu 21 Herbiziden und 21 Unkrautarten. Weitere drei Prüfglieder waren 1.) die Bekämpfungsentscheidungen eines privaten Anbauberaters („Berater“), der die Schläge kannte und die Versuchspartellen vor der Empfehlung besichtigte, 2.) die Behandlung nach Warndiensthinweisen des Pflanzenschutzdienstes Mecklenburg-Vorpommern („Warndienst“) und 3.) die Bekämpfung, die der Landwirt auf dem den Versuch umgebenden Schlag einsetzte („Praxis“). Der Anbauberater war an die Mittelpalette des „DSS“ gebunden, während die Mittelauswahl für „Warndienst“ und „Praxis“ frei war. Die Prüfglieder „DSS“, „Warndienst“ und „Praxis“ waren in allen vierzehn Versuchen angelegt. Das Prüfglied „Berater“ fehlte in drei Versuchen, da der landwirtschaftliche Betrieb keine private Pflanzenschutzberatung in Anspruch nahm. Die Herbizide wurden mit einer handgeschobenen Feldversuchsspritze auf der gesamten Parzellenfläche ausgebracht.

Datenerfassung und -auswertung

Vor der Anlage der Parzellen wurden artspezifische Unkrautdichten auf zufällig verteilten 10 mal 1/10 m² pro Block ermittelt. Diese Erfassung diente der Standortcharakterisierung und wurde auch als Grundlage der Bekämpfungsentscheidung im Herbst genutzt.

Nach Abschluss der Herbizidbehandlungen im Frühjahr zum Stadium der Milchreife des Weizens wurden pro Parzelle auf einem Quadratmeter ohne Messwiederholung die oberirdische Biomasse geerntet und die Trockenmasse der Unkräuter nach Arten getrennt bestimmt.

Die Ernte erfolgte im Kerndrusch auf 1,5 m Breite über die gesamte Parzellenlänge. Der Ernteertrag wurde auf 14 % Feuchte standardisiert.

Bei der Berechnung der Herbizidkosten pro Anbaujahr wurden Preise von Großgebinden für alle Entscheidungsvarianten zugrunde gelegt. Mit diesen Preisen wurde auch im Entscheidungshilfeprogramm gerechnet. Kosten für die Überfahrten wurden nicht kalkuliert.

Der Behandlungsindex (BI) nach SATTler *et al.* (2007) wurde als Maß für die Herbizidintensität errechnet.

Die statistischen Auswertungen erfolgten gemäß den aufgestellten Hypothesen jeweils als einseitige Tests ($\alpha = 0.05$) der Entscheidungsvarianten der Experten gegen das „DSS“. Für die varianzinhomogenen oder nicht-normalverteilten Daten Herbizidkosten und Unkraut-Trockenmasse wurden gepaarte Wilcoxon-Tests mit Bonferroni-Korrektur angewendet. Für die Unkraut-Trockenmasse wurde zusätzlich ein gemischtes Modell mit den Standorten und transformierten Trockenmassen (Transformation: 4. Wurzel) als Zufallsfaktoren erstellt, um den Anteil der Standorte bzw. der Entscheidungsvarianten an der Gesamtvarianz zu erfassen.

Die Behandlungsindices wurden mit einem Linearen Modell und der Weizenertrag mit einem Gemischten Modell mit den Standorten als Zufallsfaktor ausgewertet. Folgend wurden Post-Hoc Tests mit p-Wert Anpassung gerechnet.

Statistische Auswertungen erfolgten mit R Software und den Paketen agricolae, lme4 und multcomp (R CORE TEAM, 2012).

Standorte

Die Versuche lagen auf diluvialen Böden mit Bodenarten von schwach lehmigem bis stark lehmigem Sand. Die Ausgangsverunkroutungen waren unterschiedlich dicht (Abb. 1). Vorherrschend waren dikotyle Mischverunkroutungen mit größeren Anteilen von *Viola arvensis*, *Matricaria spp.* und *Papaver rhoeas*. Nur an einem Standort traten auch in größerem Umfang Ungräser auf (Abb. 1).

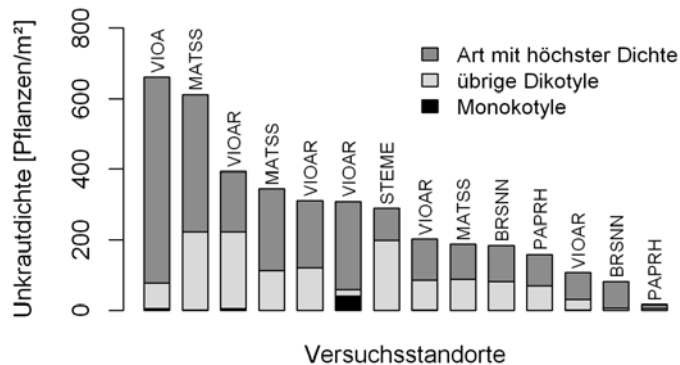


Abb. 1 Mittlere Unkrautdichte auf den Herbizidversuchen im Herbst vor der Unkrautbekämpfung.

Fig. 1 Mean weed densities in herbicide trials before weed control in autumn.

Ergebnisse

Herbizide

Die Herbizidauswahlen des „DSS“ als computergestütztes Entscheidungshilfesystem und der „Berater“-Variante waren durch die Vorgaben des DSSHerbizide Prototypen eingeschränkt. „Warndienst“ und „Praxis“ nutzten insbesondere im Herbst eine größere Herbizidvielfalt (Tab. 1). Jedoch auch „DSS“ und „Berater“ bevorzugten unterschiedliche Pflanzenschutzmittel. So wurden durch „DSS“ im Herbst auffällig oft Absolute M® und Lexus® empfohlen. „Berater“ empfahl im Herbst u.a. Bacara forte®, Cadou SC® und Pointer SX®, die von „DSS“ im Herbst nicht zum Einsatz kamen. Im Frühjahr wurde in der „DSS“-Variante Pointer SX® auf 11 der 14 Versuche eingesetzt – viel häufiger als in den Varianten, die von den Experten empfohlen wurden. Nur die „DSS“-Varianten wurden stets behandelt.

Tab. 1 Herbizidauswahl im Entscheidungshilfesystem DSSHerbicide („DSS“) sowie von drei Expertenvarianten („Berater“, „Warndienst“ und „Praxis“) in Herbizidversuchen zur Nachauflaufbehandlung im Herbst und im Frühjahr (n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)). Zahlen geben an, wie oft das Herbizid empfohlen wurde.

Tab. 1 Choice of herbicides by the decision support system DSSHerbicide (“DSS”) and by three herbicide expert treatments („Berater“, „Warndienst“ und „Praxis“) in herbicide field trials for autumn resp. spring application (n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)). Numbers show, how often the herbicide was advised.

Herbizide im Herbst	in DSS Prototyp	DSS	Berater	Warndienst	Praxis	Herbizide im Frühjahr	in DSS Prototyp	DSS	Berater	Warndienst	Praxis
kein Herbizid	ja	-	1	-	-	kein Herbizid	ja	-	1	1	1
Absolute M [®]	ja	8	1	1	3	Ariance C [®]	ja	-	1	1	2
Arelon Top [®]	nein	-	-	-	1	Artus [®]	nein	-	-	3	2
Atlantis WG [®]	ja	2	-	1	-	Atlantis WG [®]	ja	1	2	-	-
Bacara forte [®]	ja	-	2	5	3	Broadway [®]	ja	3	-	1	1
Cadou SC [®]	ja	-	4	-	1	Concert SX [®]	ja	-	1	-	-
Falkon [®]	nein	-	-	-	1	Dirigent SX [®]	nein	-	-	1	-
Fenikan [®]	nein	-	-	3	1	Flurane 180 [®]	ja	-	-	1	2
Herold SC [®]	ja	4	6	2	5	Husar OD [®]	ja	2	-	1	-
Lexus [®]	ja	5	3	-	2	Pointer SX [®]	ja	1	2	4	2
Malibu [®]	nein	-	-	2	3	Primus [®]	ja	-	4	1	4
Pointer SX [®]	ja	-	3	5	1	Starane XL [®]	ja	5	2	-	-
Primus [®]	ja	3	-	-	-						
Stomp Aqua [®]	ja	1	-	1	-						
Trinity [®]	nein	-	-	-	1						
UP CTU [®]	nein	-	-	-	1						

Herbizidkosten

Die durchschnittlichen Herbizidkosten lagen im Anbaujahr 2011/12 bei 57 €*ha⁻¹ und 2012/13 bei 49 €*ha⁻¹. Die Spannbreiten reichten von 7 €*ha⁻¹ bis 125 €*ha⁻¹, beides Extremwerte in „DSSHerbicide“ im ersten Versuchsjahr. Im ersten Versuchsjahr wiesen die vier Prüfglieder stark unterschiedliche Streuungen auf: die höchste Standardabweichung hatte „DSS“ mit 41 €*ha⁻¹, die niedrigste die „Praxis“-Variante mit 7 €*ha⁻¹. Wegen der stark unterschiedlichen Varianzen zwischen den Prüfgliedern im ersten Versuchsjahr konnten die Daten nicht in einem gemeinsamen linearen Modell verrechnet werden. Im ersten Versuchsjahr war die Variante „Praxis“ mit 45 €*ha⁻¹ mit Abstand die kostengünstigste und die „DSS“-Variante mit 63 €*ha⁻¹ die teuerste Unkrautbekämpfung. Die Kostenunterschiede zwischen der „DSS“-Entscheidung einerseits und den Expertenentscheidungen andererseits konnten statistisch nicht abgesichert werden. Im zweiten Versuchsjahr schlug „Berater“ mit 44 €*ha⁻¹ die preiswertesten Herbizidlösungen vor und „Warndienst“ mit 53 €*ha⁻¹ die teuersten. Die Herbizidkosten von 46 €*ha⁻¹ des „DSS“ lagen im Mittelfeld und unterschieden sich nicht signifikant von den Expertenvarianten (Abb. 2).

Behandlungsindex (BI)

Der mittlere BI betrug 1.42. Er sank in der Reihenfolge „Warndienst“ > „DSS“ > „Berater“ > „Praxis“, wobei die Unterschiede gering waren (Abb. 2). Sie unterschieden sich zwischen dem computergestützten System und den Expertenentscheidungen nicht signifikant. Auffällig war hingegen die stark unterschiedliche Streuung der Werte. Hier lag „DSSHerbicide“ mit einer Standardabweichung von 0.60 am höchsten, gefolgt von „Praxis“ (0.43), „Berater“ (0.42), und der „Warndienst“-Variante (0.28).

Biomasse des Unkrauts

Die Trockenmasse des Unkrauts, das nach Abschluss der Behandlungen stehen geblieben war, variierte stark. Während auf 50 % der 53 Behandlungsfolgen weniger als 4,2 g Trockenmasse * m⁻² gewogen wurden, lag die höchste Trockenmasse in einer Variante auf einem Standort bei 272.0 g Trockenmasse * m⁻². Auf den unbehandelten Parzellen wurden im Mittel 9,1mal höhere Trockenmassen bestimmt als auf den behandelten. Die Varianz in der Biomasse ließ sich zu 42 % mit den Versuchsstandorten erklären. Die Art der Behandlungsentscheidung trug hingegen nur 17 % zur Varianz bei. Im Mittel aller Versuche hatte „DSS“ lediglich gegenüber der „Warndienst“-Variante eine signifikant erhöhte Unkrautbiomasse.

Ertrag des Winterweizens

Die auf den Versuchen erzielten Erträge lagen im Mittel bei 97,2 dt*ha⁻¹ mit einer Spannweite von 69,5 dt*ha⁻¹ auf schwach lehmigem Boden bis 117,2 dt*ha⁻¹ auf lehmreichem Boden. Die Erträge auf den behandelten Parzellen übertrafen die der unbehandelten Kontrolle im Mittel um 23 %. Die Ertragsunterschiede zwischen den Varianten waren mit 95,9 dt*ha⁻¹ („Praxis“) bis 98,2 dt*ha⁻¹ („Warndienst“) gering (Abb. 2). „DSSHerbicide“ nahm mit 97,0 dt*ha⁻¹ eine mittlere Stellung ein. Die untere 95 % Vertrauensgrenze des „DSSHerbicide“ lag 3,3 dt*ha⁻¹ unter dem Mittelwert der „Warndienst“-Erträge.

Korrelationen zwischen den Herbizidkosten und den Unkrautdichten, die zu der Herbizidentscheidung führten, sind in Tabelle 2 aufgeführt. Der engste positive Zusammenhang zwischen Unkrautdichte und Herbizidkosten bestand für die Variante „DSS“. Herbizidkosten und Behandlungsindex korrelierten für „DSS“ sehr stark, und für die Experten-Varianten teils deutlich weniger.

Tab. 2 Zusammenhang zwischen der Unkrautdichte im Herbst vor Herbizideinsatz und den Herbizidkosten, sowie Zusammenhang zwischen Herbizidkosten und Behandlungsindex. (Spearman-Korrelation, n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)).

Tab. 2 Correlation of weed density in autumn before herbicide treatment and herbicide costs. Correlation of herbicide costs and treatment frequency index. (Spearman correlation, n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)).

Korrelation zwischen	„DSS“	„Berater“	„Warndienst“	„Praxis“
Herbizidkosten und Unkrautdichte	0,35	0,23	0,11	-0,41
Herbizidkosten und Behandlungsindex	0,96	0,77	0,14	0,72

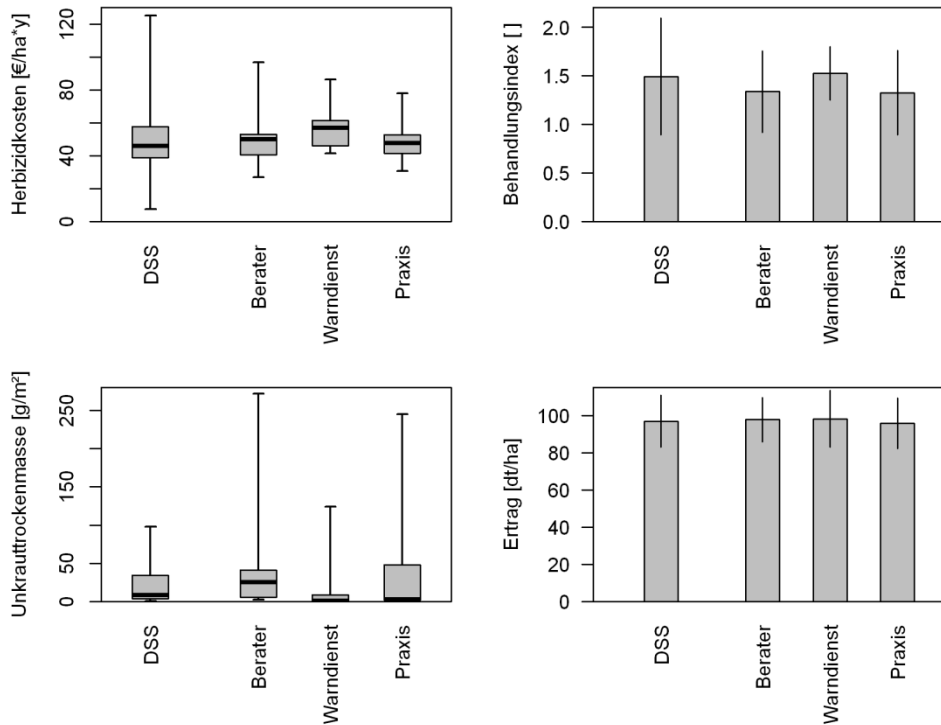


Abb. 2 Einfluss der Variante der Entscheidungsfindung („DSS“: Entscheidungshilfesystem DSSHerbicide, „Berater“ - privater Anbauberater, „Warndienst“ – Empfehlung nach Warndienstinformation, „Praxis“ – Herbizidbehandlung des angrenzenden Schlags) auf Herbizidkosten (oben links), Behandlungsindex (oben rechts), Unkrauttrockenmasse nach Abschluss aller Herbizidmaßnahmen (unten links) und Weizenertrag (unten rechts). Kosten und Trockenmasse sind als Boxplots dargestellt, die Whisker reichen bis zum Extremwert. Behandlungsindex und Ertragsgrafiken zeigen Mittelwerte (graue Balken) und Standardabweichungen (Fehlerlinie), (n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)).

Fig. 2 Influence of the variable of decision-making („DSS“: Decision support system DSSHerbicide, „Berater“ - private adviser, „Warndienst“ – official standard advice, „Praxis“ – herbicide treatment on the surrounding field) on herbicide costs (top left), treatment frequency index (top right), weed dry matter (bottom left) and yield (bottom right). Costs and dry matter are represented as boxplots with whiskers to the most extreme values. Figures of the treatment frequency indices and yield show mean values (gray bars) and standard deviations (error lines), (n = 11 („Berater“), n = 14 („DSS“, „Warndienst“, „Praxis“)).

Diskussion

Das vorrangige Ziel des Entscheidungshilfesystems DSSHerbicide zur Herbizidauswahl und zur Wahl der Herbizidaufwandmengen ist die Reduktion der direkten Kosten. Erwartet wird, dass damit auch eine Verringerung der Herbizidintensität und somit eine positive ökologische Wirkung verbunden ist. In den hier ausgewerteten vierzehn Feldversuchen konnten weder eine Kostenreduktion noch eine Reduktion der Herbizidintensität festgestellt werden. In der Tendenz zeigten „Berater“ sowie „Praxis“ die geringsten Kosten und Behandlungsindices. Lediglich die Variante „Warndienst“ wies in der Tendenz höhere Werte auf. Dieses Ergebnis überrascht nicht. Da der Warndienst die aktuelle Schlagverunkrautung nicht kennt, muss die Herbizidwahl nach einer relativ groben Beschreibung der Verunkrautung erfolgen, kann deshalb nur wenig spezifisch sein und wird eher „auf der sicheren Seite“ liegen. Nach den Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis ermittelte ROSSBERG (2013) in Deutschland einen mittleren

Behandlungsindex von 1.63 für Herbizide in Winterweizen. Der im Mittel in unseren Versuchen errechnete BI von 1.42 zeigt die auf leichteren Böden übliche niedrigere Herbizidintensität. Der Mittelwert der Herbizidkosten von 52 €*ha⁻¹ ist jedoch höher als die vom LALLF (2008) herausgegebenen Kalkulationsdaten von 40 €*ha⁻¹ für den Herbizideinsatz im Winterweizen.

Das Ergebnis der intensiveren Behandlung durch die Warndienstvariante spiegelte sich im niedrigsten Unkrautbesatz wider. Das Niveau der Unkrautmasse war allerdings auch für „DSS“ niedrig, sodass sich die geringere Unkrautmasse in der Warndienstvariante nicht in höheren Ernteerträgen auswirkte. Die Herbizidwahl des Warndienstes und der Praxis konnte aus einer größeren Mittelpalette erfolgen, die auch genutzt wurde. Es ist wahrscheinlich, dass sich mit Aufnahme von mehr Herbiziden in den Prototypen des DSSHerbizide die Herbizidkosten senken lassen.

Die höheren Streuungen in den Herbizidkosten und -intensitäten entsprechen dem Anspruch des DSSHerbizide, schlagspezifisch zu beraten, d.h. die Bekämpfung am Unkrautvorkommen auszurichten. Die Korrelation zwischen Unkrautdichte und Herbizidkosten ist deshalb erwartungsgemäß für „DSS“ am höchsten (Tab. 2). Auch die Korrelationen in den Varianten „Berater“, wo auch schlagspezifisch beraten wird, und „Warndienst“, wo eine Ausrichtung an der tatsächlich vorhandenen Verunkrautung nur sehr grob möglich ist, waren zu erwarten. Die steigenden Kosten bei sinkender Unkrautdichte in der „Praxis“-Variante ist überraschend, kann aber im Bereich des Zufalls liegen, da die Streuung der Kosten in dieser Variante gering ist. Eventuell ist für die Herbizidbehandlung in der Anbauplanung ein fester Betrag vorgesehen, der dann auch ausgeschöpft wird. Bei der Beurteilung der „Praxis“-Variante darf auch nicht vergessen werden, dass die Behandlungsentscheidung nicht an der Verunkrautung auf den Versuchspartellen, sondern auf dem umgebenden Schlag ausgerichtet wurde.

Ein Nebeneffekt der Reduktion der Kosten für die Unkrautbekämpfung sollte eine sinkende Belastung des Agrarökosystems durch Herbizide sein. Diese Rechnung scheint für „DSS“, „Berater“ und „Praxis“ aufzugehen, wie die vorhandenen Korrelationen zwischen Kosten und BI zeigen (Tab. 2). Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass im Mittel „DSS“ neben „Warndienst“ die ungünstigste Variante hinsichtlich des BI's ist.

Die Erwartungen an das DSSHerbizide bezüglich des Herbizidaufwands im Sinne der formulierten Hypothesen wurden nicht bestätigt. DSSHerbizide erwies sich jedoch auf jedem Standort als robust. Das heißt, dass weder die Restverunkrautung höher als bei Expertenentscheidungen lag, noch Ertragsdepressionen aufgrund der Computerentscheidung zu verzeichnen waren. Die Robustheit des Systems, das nach denselben Algorithmen auch in Dänemark läuft, wurde auch dort in Herbizidversuchen bestätigt (RYDAHL, 2003). Die Standorte unterscheiden sich in der Höhe der Verunkrautung sehr, jedoch sind alle Standorte durch eine dikotyle Mischverunkrautung gekennzeichnet. Auf dem einzigen Standort mit stärkerer monokotyle Verunkrautung waren die Trockenmassen der Restverunkrautung besonders hoch. Dieses galt jedoch auch für die Varianten der Expertenentscheidungen. Hier besteht Forschungsbedarf, ob das DSSHerbizide sich auch auf Standorten mit hohen Ungrasdichten bewährt.

„DSS“ forcierte in der Herbizidwahl (Tab. 1) im Vergleich zu den Expertenentscheidungen im Herbst die Handelspräparate Absolute M® und im Frühjahr Pointer SX®. Als Wirkstoffe sind in beiden Herbiziden ALS-Hemmer, Flupyrsulfuron bzw. Tribenuron-Methy, enthalten, gegen die Echte Kamille (*Matricaria recutita*) in Deutschland bereits eine Herbizidresistenz entwickelt hat (ULBER *et al.*, 2012). Für Flupyrsulfuron ist Herbizidresistenz von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) auch in deutschen Populationen bekannt (NIEMANN *et al.*, 2002). Für ein Herbizidmanagement gegen die Entwicklung von resistenten Unkrautpopulationen ist ein Wirkstoffwechsel wesentlich (BECKIE, 2006). DSSHerbizide betrachtet dieses Problem bis jetzt nicht. Der DSS Herbizide-Nutzer sollte folglich nicht einfach die kostengünstigste Bekämpfungsalternative wählen, die das System anbietet. Das Entscheidungshilfesystem legt die ökonomischen Konsequenzen verschiedener Herbizidwahlen dar. Dem Anwender bleibt es dann überlassen, weitere Ziele in der Entscheidung zu berücksichtigen.

Danksagung

Die EU ermöglichte die Entwicklung des DSSHerbicide Prototypen finanziell im Rahmen des South Baltic Programmes, wofür die Autoren danken.

Literatur

- BECKIE, H. J., 2006: Herbicide-resistant weeds: Management tactics and practices. *Weed Technol.* **20** (3), 793-814.
- BENJAMIN L. R., A. E. MILNE, D. J. PARSONS, J. CUSSANS und P. J. LUTMAN, 2009: Using stochastic dynamic programming to support weed management decisions over a rotation. *Weed Res.* **49** (2), 207–216.
- BERTI, A., F. BRAVIN und G. ZANIN, 2003: Application of decision-support software for postemergence control. *Weed Sci.* **51**(4), 618-627.
- BMELV (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ), 2008: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, 35 S.
- BVL (BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2013: Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. <https://portal.bvl.bund.de/psm/jsp/>, Zugriff am 12.10.2013.
- JØRGENSEN, L. N., E. NOE, A. M. LANGVAD, J. E. JENSEN, J. E. ØRUM und P. RYDAHL, 2007: Decision support systems: barriers and farmers' need for support. *OEPP Bull.* **37** (2), 374-377.
- NIEMANN, P., R. BÜNTE und J.-H. HOPPE, 2002: First proofs of flupyrsulfuron-resistance within *Alopecurus myosuroides* in Northern Germany. *Gesunde Pflanzen* **54** (6) 183-187.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2007: Efficacy evaluation of herbicides: Weeds in cereals. *OEPP Bull.* **37** (3), 482–485.
- LALLF (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern), 2008: Richtwerte – Deckungsbeiträge Pflanzenproduktion, Wintergetreide und Raps. <http://www.landwirtschaft-mv.de>, Zugriff am 15.10.2013.
- R CORE TEAM, 2012: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- ROSSBERG, D., 2013: Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. *Journal für Kulturpflanzen* **65** (4), 141-151.
- RYDAHL, P., 2003: A web-based decision support system for integrated management of weeds in cereals and sugarbeet. *OEPP Bull.* **33** (3), 455-460.
- RYDAHL, P., A. BERTI, A. and N. MUNIER-JOLAIN, 2008: Decision support systems (DSS) for weed control in Europe – state-of-the-art and identification of 'best parts' for unification on a European level. *ENDURE International Conference* 12. – 15. Oktober 2008, La Grotte.
- SATTLER, C., H. KÄCHEL und G. VERCH, 2007: Assessing the intensity of pesticide use in agriculture. *Agr. Ecosyst. Environ.* **119** (3-4), 299-304.
- ULBER, L., P. ZWERGER, E. SVOBODA, B. JASER und F. G. FELSENSTEIN, 2012: Monitoring zur Resistenz gegen ALS-Inhibitoren bei Kamille-Arten. *Tagungsband der 58. Deutschen Pflanzenschutztagung, Julius-Kühn-Archiv* **434**, 318-319.
- VAN DEN BERG, F., C. A. GILLIGAN, J. C. GERDESSEN, L. A. H. GREGOIRE und F. VAN DEN BOSCH, 2010: Optimal weed management in crop rotations: incorporating economics is crucial. *Weed Res.* **50** (5), 413-424.

Modellierung von ökonomischen Schadschwellen für *Rumex obtusifolius* L. im Wirtschaftsgrünland

Modelling of economic thresholds for *Rumex obtusifolius* L. in intensively used grassland and pasture

Thomas Schulz

Dow AgroSciences GmbH, Truderinger Str. 15, 81677 München
tschulz1@dow.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.047

Zusammenfassung

Der Stumpfbllättrige Ampfer (*Rumex obtusifolius* L.) ist eines der am häufigsten auftretenden Problemunkräuter des Dauergrünlandes. Zahlreiche Publikationen beschäftigen sich mit der Botanik und der allgemeinen Schadwirkung, während zu den wirtschaftlichen Auswirkungen nur sehr wenige belastbare Aussagen vorliegen. In mehrjährigen Felderhebungen an drei Standorten in Sachsen und Thüringen wurden die Beziehungen zwischen Ampferbefall, Ertragsanteil, Ertrag von Gras bzw. Ampfer sowie den Inhaltsstoffen analysiert.

Der spezifische Trockenmasse-Ertrag von *R. obtusifolius* ist geringer als der von *Lolium perenne*. Dennoch wird mit zunehmender Ampfer-Besiedelung der Gesamt-TM-Ertrag des Pflanzenbestandes nicht negativ beeinflusst. Daraus folgt ein potenziell erhöhter Ertrag nach der Durchführung von Maßnahmen zur Bestandsverbesserung.

Der prozentuale Ertragsanteil des Ampfers am Gesamtertrag lässt sich zuverlässig über eine mathematische Funktion vom Ampfer-Deckungsgrad ableiten. Die Erfassung der Abundanz erwies sich hingegen aufgrund der großen Variabilität der Größe der Einzelpflanzen zur Schätzung des Ampfer-Ertragsanteils als ungeeignet. Bei den jeweils gemeinsam an einem Standort aufgewachsenen Populationen lag die mittlere Energiedichte von Ampfer immer unter der der Graskomponente.

Es wird ein Algorithmus zur ökonomischen Bewertung von Stumpfbllättrigem Ampfer auf Basis des Ampfer-Deckungsgrades, der Energiedichte der Graskomponente und des Gesamt-Trockenmasse-Ertrages des Bestandes vorgestellt. Unter Einbeziehung der Nutzungsrichtung und des Milchverkaufspreises kann bei notwendiger, aber unterlassener Ampferbekämpfung und der zum Lückenschluss notwendigen Nachsaat der theoretisch entgangene monetäre Deckungsbeitrag berechnet und daraus ein auf die jeweilige Situation angepasster Bekämpfungsrichtwert abgeleitet werden.

Stichwörter: Abundanz, Ampfer, Bekämpfungsrichtwert, Deckungsgrad, Ertragsanteil, Futterwert

Abstract

Broadleaf dock (*Rumex obtusifolius* L.) is one of most frequently arising problem weed in permanent pasture. Numerous publications concern themselves with biology and ecology whereas little information is available quantifying the economic impacts of dock on forage grass yield and quality. Over the course of several growing seasons experiments were conducted in three pasture locations in Saxony and Thuringia (Germany). Dock infestation, yield proportions, yield of grass and dock and the forage value were measured always. The specific dry matter yield of *R. obtusifolius* is smaller than from *L. perenne*. With increasing dock settling the total forage yield is not affected negatively nevertheless. From this a potential increased yield follows after the improving the sward.

The yield proportion of dock on the total yield can be reliably estimated over a mathematical function from the ground cover of dock, whereas due to the expanded variability in the size of single plants the number of plants was unsuitable for that. In populations grown up at same location the nutrient value of dock was regularly below the nutrient value of the grass component.

An algorithm, based on ground cover of dock, net energy content of the grass component and the total dry matter yield was presented to determine the economic impact of various dock infestation. Including the forage use direction and the milk selling price the theoretically monetary income loss can be calculated when necessarily dock control and reseeding of grass filling the gaps will not be done. Using this model it will be possible to determine specific economic thresholds of dock infestations in permanent pasture under different conditions.

Keywords: Docks, forage quality, grassland, modelling, plant numbers, yield proportion

Einleitung

Rumex obtusifolius L. ist ein häufig auftretendes und schwer bekämpfbares Unkraut des Dauergrünlandes. Der Stumpfblättrige Ampfer verdrängt durch seinen dichten Blattschluss wertvolle Futtergräser, führt zu schlechteren Grundfutterqualitäten und verminderter Milchleistung, hat einen negativen Einfluss auf die Futterkonservierung und beeinträchtigt durch sekundäre Inhaltsstoffe die Tiergesundheit (STÄHLIN, 1971; HUMPREYS *et al.*, 1999; PÖTSCH, 2001B; OPITZ V. BOBERFELD, 2003).

Die von den Landwirtschaftsberatungen publizierten Bekämpfungsrichtwerte für großblättrige Ampfer-Arten in Wiesen und Weiden sind auf der Basis der Abundanz (0,1 Pflanzen bis >1 Pflanze*m⁻²) oder des prozentualen Frisch- bzw. Trockenmasse (TM)-Ertragsanteils (5 %) angegeben und beruhen nicht auf empirisch erfassten Daten oder belastbaren ökonomischen Berechnungen.

Während die Pflanzendichte pro Flächeneinheit recht einfach erhoben werden kann, gestaltet sich die Schätzung des Ertragsanteils wesentlich schwieriger und ist bezüglich ihrer Durchführbarkeit durch den Landwirt zumindest in Frage zu stellen. Die Basis der Schätzung des Ampfer-Ertragsanteils am Gesamtertrag stellt die beanspruchte Fläche dar. Darüber hinaus sind Kenntnisse des spezifischen Frischmasse-Ertrages von Ampfer und dabei insbesondere in Relation zum Flächenertrag des übrigen Bestandes erforderlich. In den Fällen, in denen der Bekämpfungsrichtwert in Höhe von 5 % des TM-Ertragsanteils angegeben wird, ist zusätzlich der Trockensubstanz-Gehalt beider Komponenten in die Berechnung einzubeziehen. Im Rahmen von botanischen Bestandserhebungen wird die Punkt-Quadrat-Methode angewandt. Diese erfordert jedoch einen hohen Zeitaufwand und eignet sich daher nur für kleine Erhebungsflächen (OPITZ V. BOBERFELD, 1994).

Bisher liegen nur sehr wenige Ergebnisse über wirtschaftlich relevante Schadwirkungen und somit über die ökonomischen Auswirkungen einer Ampferbekämpfung vor (PÖTSCH, 2001A). Von BÖHM *et al.* wurde daher bereits 2003 resümiert, dass einheitlich definierte Schadensschwellen für verschiedene Nutzungsrichtungen bzw. Nutzungsintensitäten fehlen. Auch im internationalen Maßstab gibt es kaum Forschungsarbeit zu Kosten-Nutzen-Analysen und zur Ableitung von Bekämpfungsschwellen (POPAY und BARLOW, 1988; CURAN und LINGENFELTER, 2001; PAYNE, 2009). Die letzten nennenswerten Ansätze zur Erforschung der Schadwirkung von Ampfer wurden in den 1970'er und 1980'er Jahren geleistet (COURTNEY, 1972; DOYLE *et al.*, 1983; OSWALD und HAGGAR, 1983).

Der Autor beschäftigte sich in seiner an der Humboldt-Universität zu Berlin eingereichten Dissertationsschrift (SCHULZ, 2013) mit der Erarbeitung notwendiger Daten und Kenntnisse zur ökonomischen Bewertung von *R. obtusifolius* im weidelgrasbetonten Wirtschaftsgrünland. Neben der vergleichenden Bewertung unterschiedlicher Methoden zur quantitativen Erfassung des Ampfer-Befalls wurde ein mathematischer Algorithmus erarbeitet, mit dessen Hilfe Aussagen zu ökonomischen Effekten des Auftretens von Ampfer getroffen, Schadensschwellen auf Basis des Ampfer-Deckungsgrades abgeleitet und Bekämpfungsempfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis gegeben werden können.

Material und Methoden

Die Felderhebungen zur Ermittlung von Befall und Schadwirkung wurden auf 3 weidelgrasbetonten Dauergrünlandstandorten in Sachsen und Thüringen mit jeweils intensiv bis standortangepasst optimaler Bewirtschaftungsweise und einem hohen Milchleistungsniveau durchgeführt. Die Standorte in Marbach, Gahma und Clausnitz repräsentieren damit sowohl günstige Übergangslagen als auch typische Mittelgebirgsregionen und Lagen mit ungünstigen Wachstumsbedingungen in der Kammregion des Erzgebirges.

In die Felderhebungen wurden die jeweils 4 ertragsrelevanten Aufwüchse der Jahre 2008 und 2009 einbezogen. Pro Standort und Termin wurden dabei 30 Erhebungsquadrate mit der Grundfläche von einem Quadratmeter bewertet. Die Erhebungen erfolgten zeitnah zur Beerntung

durch die Landwirtschaftsbetriebe, die Ergebnisse entsprechen somit im Wesentlichen dem Ertragsverlauf der Praxisschläge.

In den Erhebungsquadraten wurde die Anzahl der Ampferpflanzen ermittelt und der sichtbare prozentuale Deckungsgrad geschätzt. Jedes Quadrat wurde mit einer Digitalkamera fotografiert. Die Bilder dienten der späteren Messung des tatsächlichen Ampfer-Deckungsgrades mithilfe des Softwareprogramms Adobe Photoshop. Dazu wurden die durch die Aufnahmetechnik bedingten perspektivischen Verzerrungen korrigiert und das Bild auf eine definierte quadratische Grundfläche übertragen. Unter starker Vergrößerung wurden anschließend die Umrisse der Ampferpflanzen markiert und die entsprechenden Flächen schwarz eingefärbt. Nach Freistellung dieser Bereiche konnten die verbleibenden Flächen weiß eingefärbt werden. Mit der Histogramm-Funktion war es anschließend möglich, die Anzahl der schwarzen Pixel zu bestimmen, daraus konnte der prozentuale Deckungsgrad berechnet werden.

Die Erhebungsquadrate wurden getrennt nach Gras und Ampfer beerntet. Zu jedem Erhebungstermin wurden jeweils 3 Mischproben von Gras bzw. Ampfer zur Bestimmung des Trockensubstanz- und Rohrnährstoffgehaltes, der in-vitro-Verdaulichkeit und des Gehaltes an Mineralstoffen und Spurenelementen entnommen.

Insgesamt wurden 720 einzelne Datensätze erfasst, damit wurde erstmalig ein derart umfangreiches Datenmaterial zur vergleichenden Bewertung von standortidentisch aufgewachsenem Gras und Ampfer veröffentlicht, bei den Inhaltsstoffen liegen pro Probenart jeweils 72 Analysenwerte vor. Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Softwareprogramm JMP Pro 9.0.1 der SAS Institute Inc.

Ergebnisse

Ampfer-Ertragsanteil und Pflanzendichte

In Abbildung 1 ist die Abhängigkeit der prozentualen TM-Ertragsanteile des Ampfers am Gesamtertrag zusammenfassend über alle Einzelergebnisse hinweg dargestellt.

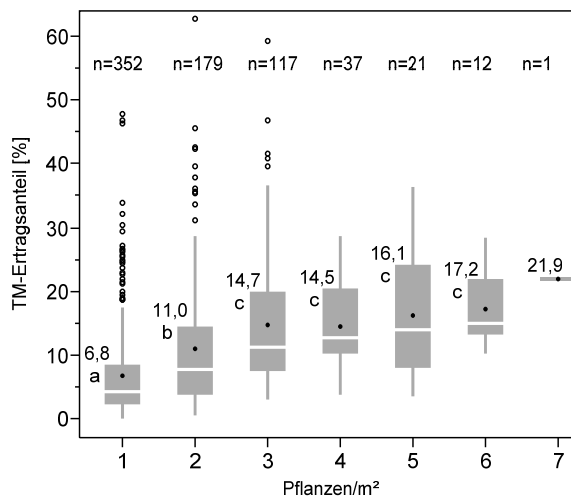


Abb. 1 Abhängigkeit des Ampfer-TM-Ertragsanteils von der Ampfer-Pflanzendichte.

Fig. 1 Dependence of the dock yield proportions from the dock plant density.

In 352 Fällen, also in knapp der Hälfte aller Erhebungsquadrate, wurde eine Befallsstärke von einer Pflanze pro m² ermittelt, der mittlere Ertragsanteil lag bei 6,8 %. In einem Viertel aller Erhebungen

wurden jeweils 2 Pflanzen gezählt, der Ertragsanteil lag bei mittleren 11%. In 117 Erhebungsquadraten wuchsen jeweils 3 Pflanzen mit einem mittleren Ertragsanteil von 14,7%. Einerseits unterscheiden sich die Mittelwerte der Ertragsanteile bei 1-3 Pflanzen signifikant voneinander, andererseits induziert die Größe der "boxplots" und die Ausdehnung der "Whisker" in der Darstellung eine sehr große Variabilität innerhalb der Gruppen. Das erscheint einleuchtend wenn man berücksichtigt, dass eine Pflanze einerseits eine schwach entwickelte Jungpflanze mit 2-3 Blättern und entsprechend niedrigem Ertragsanteil und andererseits eine massige Altpflanze mit Austrieb aus dem meristematischen Gewebe am Wurzelhals sein kann.

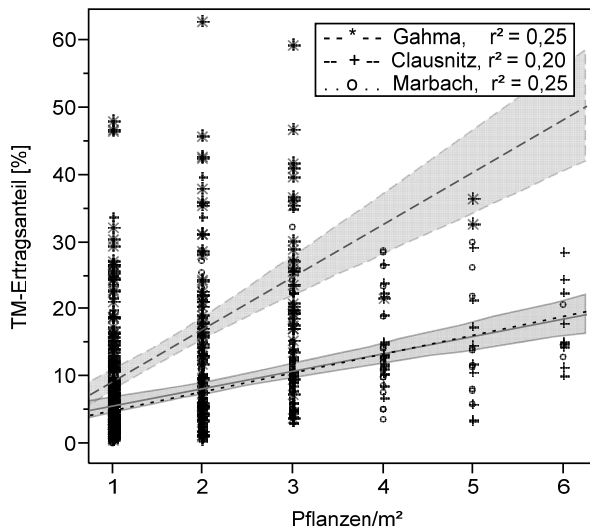


Abb. 2 Standortspezifische Abhängigkeit der Ampfer-Ertragsanteile von der Ampfer-Pflanzendichte, $n = 240$.

Fig. 2 Location-specific dependence of the dock yield proportions from the dock plant density, $n = 240$.

In Abbildung 2 sind die Einzelwerte, die Regressionsgeraden und die 95 % Konfidenzintervalle der Erwartungswerte für die standortspezifische Abhängigkeit der Ampfer-Ertragsanteile von der Pflanzendichte dargestellt. In Clausnitz und Marbach wurden innerhalb der Erhebungsflächen neben Jungpflanzen vorrangig Ampferpflanzen mit mittlerem Alter und noch wenig ausgeprägtem Wurzelstock gefunden. Im Gegensatz dazu setzte sich der Bestand der Ampferpflanzen in Gahma im Wesentlichen aus älteren Exemplaren mit ausgeprägtem Wurzelstock und starkem koronaren Austrieb und entsprechend großem Habitus zusammen. Dementsprechend höher war der jeweilige prozentuale Anteil am Gesamtertrag. Auffallend sind darüber hinaus die niedrigen Bestimmtheitsmaße der Funktionen. Diese liegen zwischen $r^2 = 0,20$ und $r^2 = 0,25$ und verweisen auf eine nur geringe Abhängigkeit der TM-Ertragsanteile des Ampfers von der Pflanzendichte.

Ampfer-Ertragsanteil und Deckungsgrad

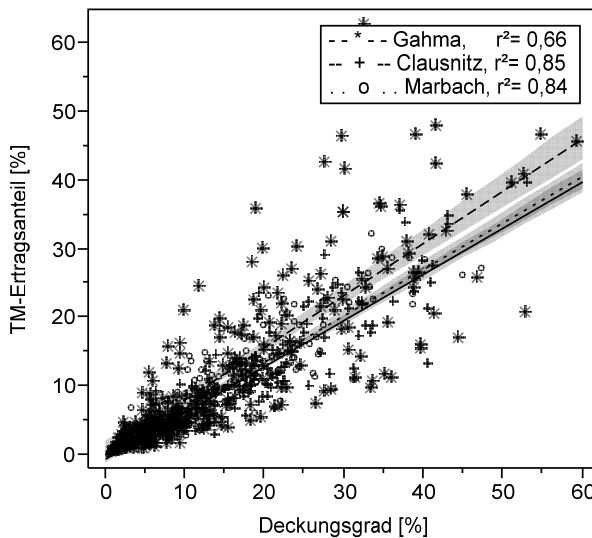


Abb. 3 Standortsspezifische Abhängigkeit der Ampfer-TM-Ertragsanteile vom Deckungsgrad, n = 240.

Fig. 3 Location-specific dependence of the dock yield proportions from the plant ground cover, n = 240.

Abbildung 3 zeigt die standortsspezifische Abhängigkeit der TM-Ertragsanteile von der projektiven Ampfer-Deckung. Neben den Einzelwerten sind die regressionsanalytisch ermittelten, linearen Anpassungsgeraden und die 95 % Konfidenzintervalle der Erwartungswerte dargestellt. Im Gegensatz zur Abhängigkeit von der Pflanzendichte wurden mit Bestimmtheitsmaßen zwischen $r^2=0,65$ und $r^2=0,85$ deutliche höhere Abhängigkeiten des Ampfer-Ertragsanteils vom jeweiligen Ampfer-Deckungsgrad gefunden. Wiederum waren die Standorte Clausnitz und Marbach untereinander gut vergleichbar, die Funktion für Gahma zeigte insbesondere im Bereich von bis zu 10 % Deckungsgrad aber sehr ähnliche Werte. Bei Zusammenfassung aller vorliegenden Datensätze ergibt sich folgende Regressionsgleichung für die Abhängigkeit des Ampfer-TM-Ertragsanteils (EA_r) vom Ampfer-Deckungsgrad (DGr).

$$EA_r [\%] = 0,287 + 0,664 \cdot DGr [\%] \quad (r^2=0,75) \quad (1)$$

Diese Gleichung wurde einem Validierungsprozess unterzogen und dabei die Verallgemeinerungsfähigkeit festgestellt. Nach Eliminierung der Regressionskonstanten ergibt sich nachstehende Formel, mit deren Hilfe sich der TM-Ertragsanteil von Ampfer zuverlässig über den Ampfer-Deckungsgrad schätzen lässt.

$$EA_r [\%] = DGr [\%] \cdot 0,69 \quad (2)$$

Ampfer-Deckungsgrad und Ertragsbeeinflussung

In Abbildung 4 sind die aufwuchsspezifischen TM-Erträge von Ampfer und dem Gesamtbestand bei steigenden Ampfer-Deckungsgraden dargestellt. Die hohe Variabilität der Gesamterträge ist dabei sowohl auf die Unterschiede zwischen den ausgewählten Standorten, als auch auf die im Jahresverlauf schwankenden Erträge der Graskomponente zurückzuführen. Bemerkenswert ist die standort- und aufwuchsunabhängig enge Beziehung zwischen dem Ampfer-Deckungsgrad und dem jeweils erreichten TM-Ertrag dieser Komponente. Bei Betrachtung der hier nicht dargestellten Einzelergebnisse konnte nur in wenigen Fällen mit zunehmender Flächeninanspruchnahme durch den Ampfer ein proportionaler Rückgang des Grasertrages beobachtet werden. Häufig führten

hingegen steigende Ampfer-Deckungsgrade zu einer leichten Zunahme des Gesamtflächenertrages.

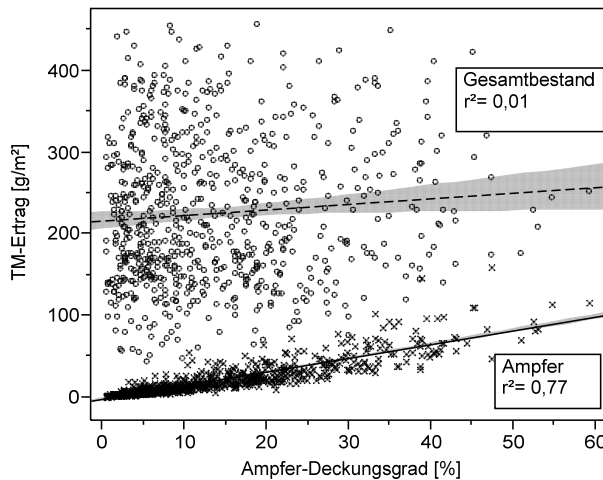


Abb. 4 Abhängigkeit des TM-Ertrages von Ampfer und Gesamt vom Ampfer-Deckungsgrad, n=720.

Fig. 4 Dependence of the dry matter yield of dock and total yield from the dock ground cover, n=720.

Inhaltsstoffe und Futterwert von Ampfer und Gras

Tab. 1 Inhaltsstoffe / Futterwert von Gras und Ampfer.

Tab. 1 Ingredients and nutrient value of grass and dock.

Rohnährstoffe [g/kg TM]	n=	Probenart				Ort	Jahr
		Gras	Ampfer	△	p		
XA	72	95	110	+16%	n.s.	n.s.	n.s.
XP	72	181	210	+16%	***	n.s.	n.s.
XL	72	33	22	-33%	***	n.s.	***
XF	72	220	169	-23%	***	n.s.	*
ADF _{org}	72	269	339	+26%	***	n.s.	***
NDF _{org}	72	518	427	-18%	***	n.s.	n.s.
Lignin	72	33	207	+527%	***	n.s.	n.s.
TS [g/kg FM]	144	174	134	-23%	*	n.s.	n.s.
ELOS [g/kg TM]	72	745	543	-27%	***	n.s.	n.s.
NEL [MJ/kg TM]	72	6,66	5,03	-25%	***	n.s.	n.s.

Im Rahmen der laboranalytischen Untersuchungen wurden mit Ausnahme des Rohaschegehaltes stets signifikante Unterschiede bei den flächenidentisch aufgewachsenen Gras- bzw. Ampfer-Komponenten festgestellt (Tab. 1). Der Trockensubstanz-, Rohfett- und Rohfaser-Gehalt von Ampfer lag deutlich unter dem von Gras. Im Gegensatz dazu hatte Ampfer gegenüber Gras einen um 16 % höheren Rohproteingehalt und einen um 26 % höheren Gehalt an säurelöslichen Faserbestandteilen, wobei insbesondere der 5-fach erhöhte Lignin-Gehalt zur um 27 %

verringerten in-vitro-Verdaulichkeit beitrug. Die mittlere Energiedichte der Graskomponente in NEL/kg TM wurde nach der Schätzgleichung von LOSAND *et al.* (2008) berechnet und lag bei 6,66 MJ. Die mittlere Energiedichte von Ampfer lag bei 5,03 MJ und somit 1,63 MJ bzw. 25 % unter der von Gras. Bei keiner der 24 untersuchten Standort-Jahr-Aufwuchs-Kombinationen lag die Energiedichte von Ampfer auf oder über dem Wert der jeweiligen Graskomponente. Die qualitativ wertvollen ersten Aufwüchse wiesen hohe Energiedichten der Graskomponente und entsprechend im Mittel um 25 % reduzierte Energiedichten von Ampfer auf. Wurden bei den durch ungünstige Wachstumsbedingungen gekennzeichneten Sommeraufwüchsen niedrige Energiedichten der Graskomponente verzeichnet, war die Energiedichte von Ampfer ebenfalls deutlich reduziert. In Einzelfällen konnte die Energiedichte von Ampfer aus einem vitalen ersten Aufwuchs die Energiedichte von Gras aus einem Sommeraufwuchs übersteigen. Dies zeigt die Notwendigkeit der Verwendung von flächenidentisch aufgewachsenem Probenmaterial bei der vergleichenden Bewertung von Qualitätsparametern unterschiedlicher Pflanzenarten.

In einer zunehmenden Anzahl von Landwirtschaftsbetrieben werden im Zuge der Grasernte Futtermittelanalysen durchgeführt. Diese im Bedarfsfall auch auf Ampfer auszudehnen dürfte aber eher unüblich sein. Für die Verwendung im ökonomischen Bewertungsmodell wird daher bis zum Vorliegen anderer Verfahren vorgeschlagen, die Energiedichte von Ampfer (*NELr*) von der laboranalytisch ermittelten Energiedichte von Gras (*NELg*) nach folgender Formel abzuleiten.

$$NELr = NELg - (NELg * 25 / 100) \quad (3)$$

Die Verallgemeinerungsfähigkeit dieser Ableitung wird maßgeblich von der Tatsache gestützt, dass die Unterschiede in der Verdaulichkeit und der Energiedichte zwischen Gras und Ampfer statistisch gesehen weder von Standort- noch von Jahreseffekten beeinflusst werden.

Diskussion

Erhebungsmethoden

Im Rahmen von ökonomischen Berechnungen ist die Kenntnis der prozentualen Ertragsanteile zur Bewertung der Erntemasse zwingend erforderlich. Auf die Problematik der visuellen Schätzung der Ertragsanteile von unterschiedlichen Pflanzenarten wurde bereits eingegangen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde daher untersucht ob es möglich ist, den Ertragsanteil vom Ampfer-Deckungsgrad unter Einbeziehung empirisch gewonnener Daten zur TM-Ertragsleistung von Ampfer abzuleiten. Unter Zuhilfenahme des von TRAXLER (1997) beschriebenen Fausttricks oder eines Boniturrahmens mit Dezimalteilung bringt die Schätzung des Deckungsgrades hinreichend genaue Ergebnisse und wird daher von mehreren Autoren zur Ermittlung der quantitativen Bestandszusammensetzung herangezogen (SAVORY und SOPER, 1973; OSWALD und HAGAR, 1983; COURTNEY, 1985; HONGO, 1989; TRAXLER, 1997; SOBOTNIK, 2001; LOCK *et al.*, 2004).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Parameter Pflanzendichte und Deckungsgrad mit ihrem Einfluss auf den Ampfer-Ertragsanteil vergleichend bewertet. Die Tabelle 2 zeigt die Pearson-Korrelationskoeffizienten dieser Beziehungen. Mit einem Koeffizienten von $r = 0,860$ ergibt sich ein hoher Zusammenhang zwischen dem Ampfer-Deckungsgrad und dem Ertragsanteil. Die Erhebung des Deckungsgrades ist somit deutlich besser als die Erfassung der Abundanz zur Schätzung des Ampfer-Ertragsanteils geeignet.

Tab. 2 Zusammenhang zwischen Ampfer-Ertragsanteil und Erfassungsmethode, $n = 720$.

Tab. 2 Correlation between yield proportion of dock and recording method, $n = 720$.

TM-Ertragsanteil	0,346 ***	0,860 ***
	Abundanz	0,409 ***
		Deckungsgrad

Auf die im Jahresverlauf schwankenden und damit aufwuchs spezifischen TM-Erträge der Graskomponente wurde bereits eingegangen (Abb. 4). Daraus ergibt sich bei der ebenfalls aufgezeigten aber aufwuchs unabhängig engen Abhängigkeit des absoluten Ampfer-TM-Ertrages vom Ampfer-Deckungsgrad eine stetig wechselnde Beziehung zwischen dem Deckungsgrad und dem relativen Ampfer-Ertragsanteil (Formel 1).

Die Maßnahmen zur Ampferbekämpfung und Bestandsverbesserung wirken hingegen im Normalfall nicht nur aufwuchs spezifisch sondern mindestens auf die gesamte Vegetationsperiode, meist sind aber mehrjährige Effekte nachweisbar. Aus diesem Grund sollten ökonomische Betrachtungen zur Bewertung der Schadwirkung von Ampfer ebenfalls auf diese Zeiträume ausgerichtet sein. Die in Formel (2) dargestellte und über alle aufwuchs spezifischen Ergebnisse gemittelte Abhängigkeit des Ampfer-TM-Ertragsanteils vom einmalig ermittelten Deckungsgrad ist daher sinnvoll und nachvollziehbar anwendbar.

Diese Formel belegt gleichzeitig den im Vergleich zur Gras-Komponente geringeren Beitrag von Ampfer am Gesamt-Ertrag der jeweiligen Grünlandfläche. Dennoch wirkt sich steigender Ampferbefall nur geringfügig auf den Gesamtertrag aus, dieser wird vielmehr und fast ausschließlich vom Ertragsniveau der Graskomponente beeinflusst. Die Tabelle 3 zeigt die Korrelationskoeffizienten dieser Beziehungen. Innerhalb der Erhebungsflächen führte zunehmender Ampferbefall trotz signifikant niedrigerer TM-Erträge des Ampfers nur selten zu einem Rückgang des Gesamt- TM-Ertrages. Aus dem geringeren TM-Ertrag und der niedrigeren Energiedichte ergibt sich bei Ampferbekämpfung und Nachsaat ein Potenzial zur Steigerung des Energieertrages der Fläche, dabei wird die durch eine erfolgreiche Ampferbekämpfung freiwerdende Lücke gedanklich durch Gras in gleicher Qualität und Ertragsleistung wie im umgebenden Bestand ersetzt.

Tab. 3 Zusammenhang zwischen Ampferbefall und TM-Ertrag der Erhebungsflächen, n = 720.

Tab. 3 Correlation between dock infestation and dry matter yield on recorded sites, n = 720.

TM-Gesamt	0,971 ***	0,247 ***	0,086 *
	TM-Grass	0,008 n.s.	-0,129 ***
		TM-Ampfer	0,878 ***
			Ampfer-DG

Modellerstellung

In einem modellhaft anzunehmenden Weidelgras-betontem Wirtschaftsgrünland mit Ampferbefall ergibt sich der Gesamt-TM-Ertrag (TM) aus der Addition der absoluten TM-Erträge von Gras und Ampfer. Ist der Gesamt-TM-Ertrag der Fläche bekannt, lassen sich die mengenmäßigen Anteile beider Ertragskomponenten über die jeweiligen prozentualen Anteile vom Gesamtertrag berechnen. Dabei steht EAg für den prozentualen Ertragsanteil von Gras und EA_r für den von Ampfer.

$$TM = TM * EAg + TM * EA_r \quad (4)$$

Bei bekanntem Ampfer-Deckungsgrad (DGr) wird der Ampfer-Ertragsanteil über die Formel (2) berechnet. Der Ertragsanteil von Gras (EAg) entspricht der Differenz des Ertragsanteils von Ampfer zur Bezugsbasis 100.

$$TM = TM * (100 - (DGr * 0,69)) + TM * DGr * 0,69 \quad (5)$$

Aus dem geringeren spezifischen TM-Ertrag von Ampfer gegenüber Gras ergibt sich logischerweise ein potenziell steigender Gesamtertrag, wenn die bisher vom Ampfer beanspruchte Fläche durch das ertragsstärkere Gras eingenommen wird. Die Differenz des

potenziell möglichen TM-Ertrages der ampferfreien Fläche zum aktuellen TM-Ertrag lässt sich mit der dargestellten Formel (6) berechnen. Dabei beschreibt der erste Teil der Formel den potenziell möglichen Grasertrag auf 100 % der Fläche, von diesem wird im zweiten Teil der Ertrag des bisherigen Mischbestandes subtrahiert.

$$\Delta TM = TM * \frac{EAg}{(100 \% - DGr)} - (TM * EAg + TM * EAr) \quad (6)$$

Analog dazu lässt sich die potenzielle Änderung des Energieertrages (ΔNEL in MJ/ha) berechnen, dazu werden die einzelnen Terme der Gleichung mit den jeweiligen Energiedichten multipliziert. Ist die Energiedichte der Graskomponente als weitere Eingangsgröße für das Modell bekannt, lässt sich unter Nutzung der Formel (3) die Energiedichte des Ampfers ($NELr$) von der Energiedichte der Graskomponente ($NELg$ in MJ/kg TM) ableiten.

$$\Delta NEL = TM * \frac{EAg}{(100 \% - DGr)} * NELg - (TM * EAg * NELg + TM * EAr * NELr) \quad (7)$$

Für die wirtschaftliche Nutzung dieses potenziell zusätzlichen Energieertrages pro Flächeneinheit gelten im Rahmen des Modells folgende Annahmen.

1. Der Erhaltungsbedarf der Milchkuh ist vollständig gedeckt und fließt nicht mit in die Berechnung ein.
2. Der Aufwuchs der bisherigen verunkrauteten Ausgangsfläche wurde vollständig im Rahmen der Milchproduktion eingesetzt.
3. Die Rationsgestaltung bleibt unverändert, so dass bei konstant beanspruchten Pansenvolumen eine höhere Energiemenge aufgenommen und vollständig in Milch umgesetzt wird.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, lässt sich der betriebswirtschaftliche Wert des Schadauftritts von *R. obtusifolius* über den potenziell entgangenen Deckungsbeitrag (DB) in EUR/ha nach folgender Formel (8) berechnen.

$$\Delta DB = \frac{\Delta MJ NEL/ha}{3,3 MJ NEL/L ECM} * (EUR/L ECM) \quad (8)$$

Die potenzielle Änderung des Deckungsbeitrages in EUR pro ha ergibt sich aus dem zusätzlichen Energieertrag in MJ NEL pro Hektar dividiert durch die zur Bildung benötigte Energiemenge pro Liter Standardmilch und multipliziert mit dem Milchpreis. Zur Nutzung des Modells sind neben dem Ampfer-Deckungsgrad [%] der Jahres-Gesamt-TM-Ertrag der Fläche [dt/ha] und die Energiedichte der Graskomponente [MJ/kg TM] zu erheben, diese Ausgangsgrößen können auf tatsächlich erfassten oder geschätzten Werten beruhen, oder aber im Zuge von 'was wäre wenn'-Betrachtungen ganz oder teilweise virtueller Natur sein.

Auf Basis des Modells wurde ein computergestütztes Anwendungsprogramm entwickelt, das unter www.dowagro.com zur individuellen Nutzung freigeschaltet ist und von ausgewählten Beratungseinrichtungen aus verlinkt werden kann. Dabei fanden zusätzlich die Nutzungsarten Weide, Grünschnittnutzung und Silagebereitung Berücksichtigung, diese entscheiden über die Differenz der Energiedichten von Ampfer und Gras (SCHULZ, 2013). Unter Berücksichtigung der Kosten der Maßnahmen zur Bestandsverbesserung kann letztendlich ein flexibel auf die jeweilige Situation angepasster Bekämpfungsrichtwert kalkuliert werden.

Literatur

- BÖHM, H., T. ENGELKE, J. FIENZE, A. HÄUSLER und B. PALLUTT, 2003: Strategien zur Regulierung von Wurzelunkräutern im ökologischen Landbau. Landbauforschung Völkenrode SH **255**, 7-82.
- COURTNEY, A.D., 1972: Docks in grassland, their influence on herbage productivity. Proceedings of the 11th British Weed Control Conference, 315-322.
- COURTNEY, A.D., 1985: Impact and control of docks in grassland. British grassland society, Occasional symposium **18**, 20-127.

- CURRAN, W.S. und D.D. LINGENFELTER, 2001: Weed Management in Pasture systems. Pennsylvania State University, College of Agricultural Science, www.cropsoil.psu.edu/extension/facts/agfact62.pdf, abgerufen 29.05.2012.
- DOYLE, C.J., A.K. OSWALD, R.J. HAGGAR und F.W. KIRKHAM, 1983: A mathematical modeling approach to the study of the economics of controlling *Rumex obtusifolius* in grassland. *Weed Research* **24**, 183-193.
- HONGO, A., 1989: Survival and growth of seedlings of (*Rumex obtusifolius* L.) and (*Rumex crispus* L.) in newly sown grassland. *Weed Research* **29**(1), 7-12.
- HUMPREYS, J., T. JANSEN, N. CULLETON, F.S. MACNAHEIDE und T. STOREY, 1999: Soil potassium supply and *Rumex obtusifolius* and *Rumex crispus* abundance in silage and grazed grassland swards. *Weed Research* **39**, 1-13.
- LOCK, R., I. RADEMACHER, H. NONN und W. KÜHBAUCH, 2004: Bestimmung des Deckungsgrades in Grünland und Rasenflächen mit Hilfe Digitaler Bildverarbeitung. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* **48**, 213-216.
- LOSAND, B., M. PRIES, A. MENKE, E. THOLEN, L. GRUBER, F. HERTWIG, T. JILG, H. KLUTH, H. SPIEKERS, H. STEINGASS und K.H. SÜDEKUM, 2008: Schätzung des Energiegehaltes in Grasprodukten - Bericht zum Stand neuer Ableitungen. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* **52**, 108-112.
- OPITZ V. BOBERFELD, W., 1994: Grünlandlehre, Eugen Ulmer, Stuttgart ISSN 3-8252-1770-1, 59-80.
- OPITZ V. BOBERFELD, W., 2003: Zur Biologie großblättriger *Rumex*-(Ampfer-) Arten. *Landbauforschung Völkenrode*, SH **255**, 49-52.
- OSWALD, A.K. und R.J. HAGGAR, 1983: The effects of *Rumex obtusifolius* on the seasonal yield of two mainly perennial ryegrass swards. *Grass and Forage Science* **38**, 187-191.
- PAYNE, K.K., 2009: Influence of herbicide applications and common pasture weeds on total Forage yield and nutritive values in tall fescue pastures and hayfields in Missouri. University of Missouri, Master Degree paper.
- POPAY, I. und N. BARLOW, 1988: Costs of some weeds of dairy pasture and their control. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* **49**, 177-180.
- PÖTSCH, E. M., 2001a: Historisches zum Ampfer. 7. Alpenländisches Expertenforum, BAL Gumpenstein, 29-32.
- PÖTSCH, E. M., 2001b: Wissenswertes zur mechanischen und chemischen Ampferbekämpfung. 7. Alpenländisches Expertenforum, BAL Gumpenstein, 75-81.
- SAVORY, B.M. und D. SOPER, 1973: Response of a pasture to removal of Docks (*Rumex* spp.) by treatment with Asulam. *Weed Research* **13**, 224-230.
- SCHULZ, T., 2013: *Rumex obtusifolius* L. im Wirtschaftsgrünland - ein modellhafter Ansatz zur ökonomischen Bewertung, Dissertation, HU-Berlin, 223 S.
- SOBOTNIK, M., 2001: Verbreitung, Morphologie und Anatomie des Ampfers. 7. Alpenländisches Expertenforum, BAL Gumpenstein, 33-38.
- STÄHLIN, A., 1971: Gütezahlen von Pflanzenarten in frischem Grundfutter. Das wirtschaftseigene Futter, Sonderheft 5, DLG-Verlag, Frankfurt/M., 152 S.
- TRAXLER, A., 1997: Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings - Teil A. Umweltbundesamt Wien, ISBN 3-85457-389-8, 102-139.

Prognose künftiger Problemunkräuter im Maisanbau durch Artverbreitungsmodellierung

Predicting weed problems in maize cropping by species distribution modelling

Jana Bürger ^{1*}, Barbara Edler ², Bärbel Gerowitz ¹ und Horst-Henning Steinmann ²

¹ Universität Rostock, Phytomedizin, Satower Straße 48, 18059 Rostock, Deutschland

² Universität Göttingen, Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung, Grisebachstraße 6, 37077 Göttingen, Deutschland

*Korrespondierender Autor, jana.buerger@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.048

Zusammenfassung

Die starke Zunahme des Maisanbaus in den letzten Jahren und Veränderungen in der Anbautechnik haben die Selektion typischer Maisunkräuter gefördert, die auch in besonderem Maße von den Folgen des Klimawandels profitieren könnten. Für die Pflanzenproduktion ist es von hohem Interesse, zukünftige Probleme mit Unkräutern abzuschätzen. Im Projekt KLIFFF wurden darum neben experimentellen Arbeiten auch Artverbreitungsmodellierungen für das Gebiet von Niedersachsen durchgeführt. Für die vorliegende Studie wurden für neun Unkrautarten, die in verschiedenen Ländern Europas große Bedeutung im Maisanbau haben und weitverbreitet auftreten, die ökologische Nische und die Schadensnische ermittelt. Die ökologische Nische beschreibt die Umweltbedingungen, die günstig für das dauerhafte Vorkommen einer Art sind, die „Schadensnische“ jene Umweltbedingungen, unter denen eine Art darüber hinaus Schaden in landwirtschaftlichen Kulturen hervorruft. Dazu wurden Vorkommensdaten aus verschiedenen Vegetationsdatenbanken mit hochaufgelösten Klima-, Boden- und Landnutzungsdaten kombiniert. Durch die Projektion der Modelle auf simulierte Klimawerte für die Zeit 2070 - 2100 wurden Effekte des Klimawandels abgeschätzt.

Die Ergebnisse zeigen, dass in Niedersachsen bereits heute fast flächendeckend günstige Bedingungen für typische Maisunkräuter herrschen, aber nur einzelne Arten weitverbreitet hohe Bedeutung im Maisanbau besitzen (*Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album*, *Polygonum convolvulus*). Die Ergebnisse decken sich sehr gut mit Daten eines früheren Maisunkraut-Monitorings. Die Reaktion auf die veränderten Klimabedingungen zum Ende dieses Jahrhunderts ist artspezifisch sehr unterschiedlich. Einige Arten reagieren im potentiellen Vorkommen neutral (*E. crus-galli*), andere mit großflächigen Zugewinnen (*Polygonum persicaria*) oder Verlusten (*Viola arvensis*) geeigneter Habitate. Alle Arten, die heute bereits hohes Schadpotential aufweisen, behalten dieses; weitere Arten gewinnen regional Schadenspotential (*Calystegia sepium*, *Setaria viridis*).

Stichwörter: Klimawandel, MaxEnt, Niedersachsen, potentielle Verbreitung, ökologische Nische, Schadensnische, *Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album*

Abstract

Increasing maize cultivation and changed cropping practices promote the selection of typical maize weeds that may also profit strongly from climate change. Predicting potential weed problems is of high interest for plant production. Within the project KLIFFF, experiments were combined with species distribution modelling for this task in the region of Lower Saxony, Germany. For our study, we modelled ecological and damage niches of nine weed species that are significant and wide spread in maize cropping in a number of European countries. Species distribution models describe the ecological niche of a species, these are the environmental conditions under which a species can maintain a vital population. It is also possible to estimate a damage niche, i.e. the conditions under which a species causes damage in agricultural crops. For this, we combined occurrence data of European national data bases with high resolution climate, soil and land use data. Models were also projected to simulated climate conditions for the time horizon 2070 - 2100 in order to estimate climate change effects.

Modelling results indicate favourable conditions for typical maize weed occurrence virtually all over the study region, but only a few species are important in maize cropping. This is in good accordance with the findings of an earlier maize weed monitoring. Reaction to changing climate conditions is species-specific, for some species neutral (*E. crus-galli*), other species may gain (*Polygonum persicaria*) or lose (*Viola arvensis*) large areas of suitable habitats. All species with damage potential under present conditions will remain important in maize cropping, some more species will gain regional importance (*Calystegia sepium*, *Setaria viridis*).

Keywords: *Chenopodium album*, climate change, damage niche, *Echinochloa crus-galli*, ecological niche, Lower Saxony, MaxEnt, potential distribution

Einleitung

Durch die Intensivierung der Landwirtschaft mit hohem Einsatz von Dünger und Herbiziden, vereinfachten Fruchtfolgen und reduzierter Bodenbearbeitung sind in den letzten Jahrzehnten sehr starke Veränderungen in der Ackerunkrautflora zu beobachten (BAESSLER und KLOTZ, 2006; FRIED *et al.*, 2012). In jüngerer Zeit hat durch die Förderung von Biogasanlagen zur Energiegewinnung in Deutschland der Maisanbau auch in Regionen stark zugenommen, wo diese Kultur bisher wenig Bedeutung hatte. Da Mais generell eine relativ neue Frucht im Ackerbau in Deutschland ist, ist auch die assoziierte Unkrautflora weniger etabliert als in klassischen Früchten wie den meisten Getreidearten. Durch den Anbau von Mais in engen Fruchtfolgen werden typische Unkrautarten gefördert, die oft Frühjahrskeimer, wärmeliebend, großwüchsig und konkurrenzstark, auch gegenüber dem Mais, sind (MEHRTENS, 2003; FRIED *et al.*, 2008; GUNTON *et al.*, 2011).

Große Veränderungen stehen der Landwirtschaft auch durch den Klimawandel bevor. Für Niedersachsen werden beispielsweise ein Temperaturanstieg von durchschnittlich 2.5 °C sowie eine Abnahme der Sommerniederschläge um 10 Prozent prognostiziert (MOSELEY *et al.*, 2012). Für die Unkrautflora kann das artspezifisch sehr unterschiedliche Folgen haben. Neben einer Veränderung der Artenzusammensetzung durch veränderte Konkurrenzbeziehungen können sich die Vorkommensareale von Arten verschieben, und im extremsten Fall werden Arten aussterben (PATTERSON, 1995). Es wird erwartet, dass die typischen Maisunkräuter auch von den Folgen des Klimawandels besonders profitieren können, (z. B. wärmeliebende Arten aufgrund der Temperaturerhöhungen).

Die Artverbreitungs- oder Nischenmodellierung kann dazu dienen, den Effekt von Klimaveränderungen auf die Verbreitung von Arten zu prognostizieren. Sie verbindet Daten über das aktuelle Vorkommen einer Art in einem Trainingsgebiet mit Daten zu den dort herrschenden Umwelteigenschaften und erfasst die ökologische Nische dieser Art, d.h. die Umweltbedingungen, die günstig für das dauerhafte Vorkommen der Art an einem Standort sind. Überträgt man das Modell wieder in einen geografischen Raum, lässt sich die Eignung dieses Raumes als Habitat für die Art bestimmen. Anhand des Modells und prognostizierter Klimawerte kann abgeschätzt werden, wo eine Art in Zukunft günstige Bedingungen vorfinden wird. Bisherige Untersuchungen dieser Art umfassten z. B. die Effekte des Klimawandels auf die Flora von Deutschland (POMPE *et al.*, 2011) oder auf Ackerunkräuter auf europäischer Ebene (HYVÖNEN *et al.*, 2012).

Für die Pflanzenproduktion ist es von hohem Interesse, zukünftige Probleme mit Unkräutern abzuschätzen, um sich in der Entwicklung von Anpassungsstrategien für den Klimawandel auf solche Arten zu konzentrieren, die besonders stark auftreten, schwer bekämpfbar oder typisch für bestimmte Anbausysteme sind. Hierzu kann die Ermittlung der „Schadensnische“ dienen, die die Umweltbedingungen beschreibt, unter denen eine Art Schaden in landwirtschaftlichen Kulturen hervorruft. Sie wurde zuerst von McDONALD *et al.* (2009) für wichtige Maisunkräuter in den USA ermittelt.

Im Teilprojekt Pflanzenproduktion des Forschungsverbunds KLIFF (www.kliff-niedersachsen.de) wurden neben experimentellen Arbeiten auch Artverbreitungsmodellierungen für das Gebiet von Niedersachsen durchgeführt, um Effekte des Klimawandels auf Ackerunkräuter zu untersuchen. Der Fokus lag dabei auf der regionalen Skala, um notwendige Anpassungsmaßnahmen für die Landwirtschaft zu erarbeiten (BREITSAMETER *et al.*, 2014). Im vorliegenden Beitrag wird die Modellierung von ökologischen Nischen und Schadensnischen von neun typischen Unkrautarten im Maisanbau vorgestellt, die zur Abschätzung der zukünftigen Verbreitung dieser Arten in Niedersachsen diene.

Material und Methoden

Es wurden für neun Unkrautarten (Tab. 1), die nach Einschätzung von Experten (MEISSE *et al.*, 2010) in verschiedenen Ländern Europas hohe Bedeutung im Maisanbau haben und regelmäßig und weitverbreitet auftreten, je zwei Artverbreitungsmodelle erstellt, ein Modell der ökologischen Nische sowie ein Modell der Schadensnische Daten über das Vorkommen dieser Arten in Europa wurden aus verschiedenen nationalen Vegetationsdatenbanken sowie von der Datenbank des Global Biodiversity Information Facility (gbif) als geografische Koordinaten abgefragt. Zwei Trainingsdatensätze wurden zusammengestellt: (1) zur Modellierung der ökologischen Nische alle europäischen Vorkommensdaten umfassend in den geographischen Grenzen zwischen 11° westlicher bis 41° östlicher Länge sowie zwischen 34° und 70° nördlicher Breite und (2) zur Modellierung der Schadensnische eingeschränkt auf Vorkommensdaten aus den europäischen Regionen, in denen die Art als signifikant für das Unkrautmanagement eingeschätzt wurde.

Tab. 1 Liste der untersuchten Arten.

Tab. 1 List of studied species.

Art (EPPO-Code)	Anzahl der Fundorte, deren Koordinaten für die Modellierung der Ökologischen Nische verwendet wurden	Länder , in denen die Art als „signifikant und weit verbreitet“ eingeschätzt wird. Quelle: (MEISSE <i>et al.</i> , 2010)*	Anzahl der Fundorte, deren Koordinaten für die Modellierung der Schadensnische verwendet wurden
<i>Calystegia sepium</i> (CAGSE)	37640	F, NL	14064
<i>Chenopodium album</i> (CHEAL)	32078	I, ES, F, NL, DK, D, POL	10328
<i>Echinochloa crus-galli</i> (ECHCG)	12865	HU, I, ES, F, NL, D, POL	2459
<i>Polygonum aviculare</i> (POLAV)	50517	F, DK, D	908
<i>Fallopia convolvulus</i> (POLCO)	22631	F, DK, D	684
<i>Polygonum persicaria</i> (POLPE)	9945	F, DK, D	644
<i>Setaria viridis</i> (SETVI)	6243	HU, ES	108
<i>Solanum nigrum</i> (SOLNI)	16725	F, D	204
<i>Viola arvensis</i> (VIOAR)	22040	DK	86

*) Länder mit Angabe der Regionen : D – Deutschland (Südwesten), DK – Dänemark, ES – Spanien (Ebro-Tal), F – Frankreich (Südwesten, Westen, Normandie), HU – Ungarn (Békés, Tolna), I – Italien (Po-Ebene), NL – Niederlande, POL – Polen (Südwesten).

Zur Beschreibung der Umweltbedingungen im Trainingsgebiet dienten klimatische Variablen, die auf globaler bis regionaler Ebene als die wichtigsten Treiber für die Verbreitung von Arten angesehen werden, sowie Variablen zu Bodeneigenschaften und Landnutzung, die auf kleineren Skalen (regional oder lokal) wirken (PEARSON und DAWSON, 2003; BREITSAMETER *et al.*, 2014 im gleichen Band). Historische Daten zu verschiedenen Aspekten des Klimas (Mittelwerte, Minima, Maxima und Verteilungsmuster über die Jahreszeiten) für Europa im Zeitraum 1950 - 2000 wurden von der worldclim-Datenbank (HUMANS *et al.* 2005) geladen. Simulierte Klimawerte für Niedersachsen in der Zeit zwischen 1970 - 2000 sowie 2070 - 2100 stammen vom regionalen Klimamodell REMO, Lauf UBA, Klimaszenario „weiteres schnelles Wachstum“ A1B (MOSELEY *et al.*, 2012). Aus den biaskorrigierten monatlichen Werten von REMO wurden ebenfalls die 19 klimatischen Variablen aggregiert.

Daten zu Bodentextur, pflanzenverfügbarem Wasser und Gehalt an organischem Kohlenstoff stammen von der Europäischen Bodendatenbank (<http://eu soils.jrc.ec.europa.eu>), Daten zur Landnutzung vom ISCGM (<http://www.iscgm.org>). Sie wurden für die Zukunftsprojektion als

unverändert angenommen. Die verwendete Auflösung der Umweltvariablen betrug 10'. Zur Vermeidung überparametrisierter Modelle wurden in jedem artspezifischen Modell diejenigen Variablen entfernt, die mit einer anderen Variable korreliert waren (Pearsons $r > 0.8$), die über eine höhere Erklärungskraft im Modell verfügte.

Artverbreitungsmodelle wurden mit MaxEnt 3.3.3k erstellt, einer weit verbreiteten Methode für Verbreitungsmodellierung mit (presence-only-)Vorkommensdaten (PHILLIPS *et al.*, 2006). Wir verwendeten die Standardeinstellungen des Programms, abgesehen von den folgenden: maximale Anzahl der Iterationen erhöht auf 2000, als Feature-Klasse wurden bei einigen Arten nur lineare, quadratische und Produkt-features genutzt, wenn die Autofeatures-Option zu Überanpassungen führte. Die maximale Anzahl an Hintergrund-Punkten wurde festgelegt entsprechend der Anzahl der Vorkommensdaten einer Art.

Die Modellierung umfasste 10 Replikationen mit Cross-Validierung. Dafür wurden die Vorkommensdaten jeder Art in 10 Teildatensätze aufgeteilt, ein Modell mit 9 Teildatensätzen trainiert und mit dem zehnten, zurückgehaltenen Datensatz validiert. Zuletzt wurden die Ergebnisse der 10 Replikationen gemittelt. Die Modellgüte wurde mit dem AUC quantifiziert (area under the receiver operator characteristic curve). AUC-Werte über 0.7 gelten als akzeptabel, über 0.9 als exzellent. Der AUC sinkt bei sehr hoher Anzahl der Trainingsdaten und ist nicht zwischen Modellen verschiedener Arten vergleichbar (PETERSON *et al.*, 2011).

Die Ergebnisse der Modellierungen sind Karten der Habitategnung bzw. des Schadpotentials, projiziert für Niedersachsen in den geographischen Grenzen 6 bis 12° östlicher Länge und 51 bis 54° nördlicher Breite, jeweils einmal für heutige und einmal für zukünftige Klimabedingungen. Diese Karten wurde mit Hilfe eines Schwellenwerts in eine binäre Größe übersetzt werden, die geeignete und nicht geeignete Gebiete bzw. Gebiete mit und ohne Schadpotential ausweist. Die Größe dieser Areale errechnet sich als Proportion der als geeignet ausgewiesenen Rasterzellen an allen Zellen von Niedersachsen. Das Veränderungssignal für ergibt sich als Differenz zwischen zukünftiger und heutiger Größe geeigneter Areale, basierend auf REMO-Werten für beide Zeitperioden.

Die Datenaufbereitung sowie die Auswertung der Ergebnisse erfolgten mit QGIS 1.0.8 (QGIS Development Team, 2012) und R 2.15.2 (R Core Team, 2012) sowie den Paketen raster 2.0-41 (Hijmans und van Etten, 2012) und rgdal 0.8-4 (Keitt *et al.*, 2013).

Ergebnisse

Für alle Arten wurden Modelle mit akzeptabler bis sehr guter Anpassung erstellt, Tabelle 2 fasst alle wichtigen Ergebnisse zusammen. Für die neun untersuchten Arten herrschen in Niedersachsen weit verbreitet gute Vorkommensbedingungen: die Modelle der ökologischen Nischen weisen hohe Flächenanteile Niedersachsens als geeignete Habitate aus. Zwischen den Regionen Niedersachsens bestehen zum Teil allerdings deutliche Unterschiede, wie Abbildung 1 dies beispielhaft für *E. crus-galli* und *S. viridis* zeigt (s. auch BREITSAMETER *et al.*, 2014). Im Gegensatz dazu weisen die Modelle der Schadensnische Niedersachsens nur für einige wenige Arten, nämlich CHEAL und ECHCG, als Gebiet mit bedeutendem Schadpotential aus. POLCO ist regional im Süden Niedersachsens als bedeutend modelliert worden.

Tab. 2 Flächenanteil geeigneter Habitate für Maisunkräuter in Niedersachsen und Veränderungssignal unter Bedingungen des Klimawandels.

Tab. 2 *Proportional area of suitable habitats for maize weeds in Lower Saxony and change signal under climate change conditions.*

Art	Modell der ökologischen Nische			Modell der Schadensnische		
	AUC	Geeignete Habitate *) 1970-2000	Veränderungssignal bis 2070-2100	AUC	Gebiete mit Schadpotential*) 1970-2000	Veränderungs- signal bis 2070-2100
CAGSE	0.71	0.95	-0.03	0.63	0.02	+0.14
CHEAL	0.69	0.96	+0.13 A)	0.69	0.99	-0.02
ECHCG	0.78	0.85	+0.03	0.79	0.99 B)	-0.03
POLAV	0.68	0.77	-0.23	0.98	0.00	+0.10
POLCO	0.73	0.97	-0.95	0.99	0.10	+0.00
POLPE	0.83	0.51	+0.35	0.99	0.00	+0.02
SETVI	0.76	0.78	+0.04	1.00	0.01	+0.25
SOLNI	0.74	0.90	-0.06	0.98	0.02	-0.02
VIOAR	0.75	0.95	-0.94	1.00	0.00	+0.00

* Anteil am Gebiet Niedersachsens, A) Für CHEAL ist die Summe aus heute geeignetem Gebietsanteil von Niedersachsen und Änderungssignal > 1.0. Dies ist ein Artefakt der Berechnung. Die Berechnung der Habitateignung in der Gegenwart basiert auf den tatsächlich gemessenen Klimawerten. Für die Berechnung des Veränderungssignals wurden für Gegenwart und Zukunft simulierte Klimawerte aus REMO genutzt, um systematische Modellfehler auszugleichen. Das REMO-Modell gibt nicht genau die gemessenen Klimawerte wieder, bildet aber das Veränderungssignal im Klima gut ab. B) Es kann passieren, dass das Modell der Schadensnische größere geeignete Gebiete ausweist als das Modell der ökologischen Nische, da beide Modelle unabhängig voneinander sind und verschiedene Variablen enthalten.

Die Projektion auf die zukünftig erwarteten Klimabedingungen bringt für die neun Arten sehr unterschiedliche Veränderungssignale. Während das Vorkommensareal einiger Arten weitgehend unverändert bleibt, werden für POLAV, POLCO und VIOAR hohe bis sehr hohe Verluste an geeigneten Flächen vorhergesagt. Dafür nimmt das geeignete Areal für POLPE zu. Ähnlich verhält es sich mit dem Veränderungssignal für die Flächen mit potentieller Schadwirkung. Die drei Arten CHEAL, ECHCG und POLCO bleiben unverändert wichtig und für drei weitere Arten nehmen die Gebiete mit Schadpotential zu: CAGSE, POLAV und SETVI.

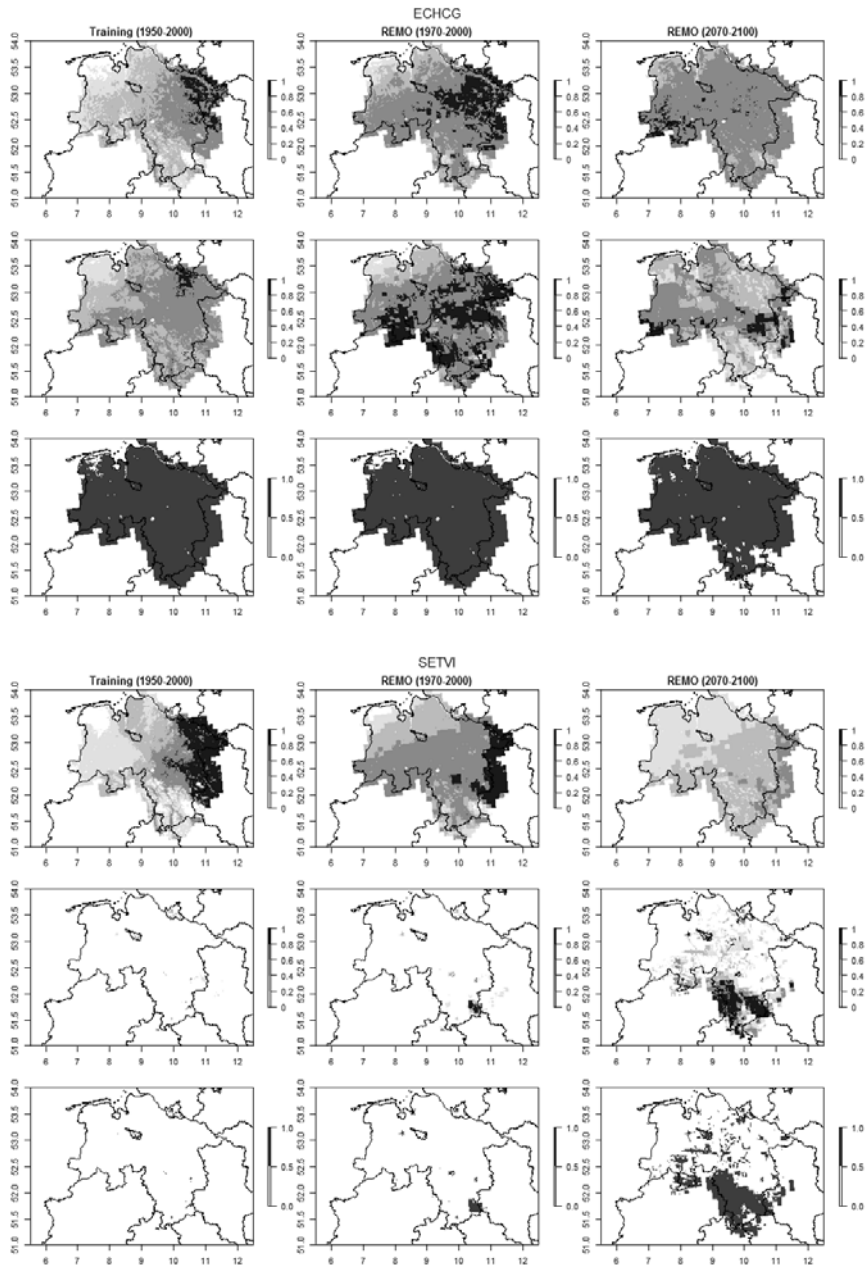


Abb. 1 Ökologische Nische und Schadensnische von *Echinochloa crus-galli* (ECHCG) und *Setaria viridis* (SETVI). Oberste Zeile: Habitataignung entsprechend der ökologischen Nische, mittlere Zeile: Eignung entsprechend der Schadensnische. Dunklere Farben zeigen eine höhere Eignung. Untere Zeile: Gebiete mit Schadpotential (grau markiert).

Fig. 1 Ecological and damage niches of *Echinochloa crus-galli* (ECHCG) and *Setaria viridis* (SETVI). Upper line: habitat suitability according to ecological niche, middle line: Suitability of conditions according to damage niche. Darker colours show a higher suitability. Lower line: Areas with damage potential (coloured grey).

Diskussion

Wir haben für neun Unkrautarten, die in verschiedenen europäischen Maisanbau-Regionen weit verbreitet auftreten und eine hohe Bedeutung haben, die ökologische Nische und die Schadensnische modelliert, um daraus Aussagen über ihr Vorkommen und über ihr Schadpotential unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen in Niedersachsen abzuleiten. Die Ergebnisse zur Habitataignung decken sich gut mit Karten der Niedersächsischen Vegetationskartierung (GARVE, 2007). Darüber hinaus stimmen die Ergebnisse der Schadensnischen-Modellierung mit den Aussagen von MEHRTENS *et al.* (2005) überein, die ein deutschlandweites Monitoring von Unkräutern im Maisanbau auswerteten. Die Autoren nennen CHEAL, ECHCG, POLCO, SOLNI und VIOAR als wichtigste Arten, die mit hoher Stetigkeit und hohen Dichten auftreten. Die beiden letztgenannten Arten wurden aber als weniger bedeutend in Mais eingeschätzt.

Durch die gute Übereinstimmung der Modellierungsergebnisse mit unabhängigen Kartierungsergebnissen zeigt sich der Erfolg des Ansatzes, eine Nischenmodellierung mit Expertenwissen über die Bedeutung verschiedener Unkrautarten zu kombinieren. Die Abschätzungen der Schadensnische sind relevant für die Landwirtschaft, da sie Aussagen über die Bedeutung einzelner Unkrautarten erlauben, die über das potentielle Vorkommen hinausgehen.

Die Projektion der ermittelten Modelle auf zukünftige klimatische Gegebenheiten weist artspezifisch sehr unterschiedliche Veränderungssignale aus. Dabei fällt auf, dass sich für die in der Gegenwart wichtigsten Maisunkräuter in Niedersachsen das Gebiet mit Schadpotential nicht oder nur unwesentlich verkleinern wird, weitere Arten aber an Bedeutung gewinnen werden. Dagegen verkleinert sich das potentielle Vorkommensgebiet für einige der untersuchten Arten erheblich.

Diese artspezifisch sehr unterschiedliche Reaktion auf veränderte Klimabedingungen wurde in ähnlichen Studien für andere geografische Räume beschrieben. McDONALD *et al.* (2009) erwarten für den Maisanbau in den USA zukünftig Verschiebungen der Schadensnischen von Süden nach Norden, beispielweise eine Ausweitung der Schadensnische von *Sorghum halepense* und eine Verkleinerung für *Abutilon theophrasti*. In einer Studie auf europäischer Ebene untersuchten HYVÖNEN *et al.* (2012) 25 Ackerunkrautarten, vornehmlich aus Mittel- und Südeuropa, und modellierten Verbreitungsgewinne für 14 Arten und Verluste für 11 Arten. Die Autoren untersuchten eine andere Artauswahl als die hier vorgestellte, doch wurden Gewinne vor allem von den bisher eher südlicher verbreiteten, also wärme-angepassten Arten erzielt.

In der vorliegenden Studie wurde erstmals die Verbreitung von Ackerunkräutern auf der kleinskaligen regionalen Ebene modelliert. Verbreitungsmodellierungen müssen jenseits des Klimas die auf dieser Ebene wirksamen Faktoren mit einbeziehen: Boden, Management und biotische Interaktionen (STRATONOVITCH *et al.*, 2012; BREITSAMETER *et al.*, 2014 in diesem Band). Daher wurden einerseits hochaufgelöste Boden- und Landnutzungsvariablen in der Modellierung eingesetzt. Andererseits erfolgte die Auswahl der Trainingsdaten für die Schadensnische mit einem Filter, der Informationen zu Management (Mais, intensive europäische Landwirtschaft) und damit auch weiteren ökologischen Komponenten (Zusammensetzung der Flora, Konkurrenz) implizit aggregierte. Hierdurch wurde die hohe Qualität der Modelle und die Deckung zu den Monitoring-Ergebnissen von MEHRTENS *et al.* (2005) erreicht.

Da der Fokus der Studie auf der Projektion von Nischen-Modellen in die Zukunft bestand, und weniger in der Erklärung der heutigen Verbreitung der untersuchten Arten, ist es nicht möglich, aus den Modellen Schlüsse über biologische oder ökologische Wirkmechanismen zu ziehen. Die Untersuchung solcher Zusammenhänge wäre eine andere Fragestellung und bedürfte einer anderen Auswahlmethode für die eingehenden Umweltvariablen. Dass verschiedene Variablen zu Boden und Landnutzung als unverändert in der Zukunft angenommen werden, liegt an der fehlenden Verfügbarkeit entsprechender Szenario-Daten. Allerdings ist es trotzdem sinnvoll, die Variablen einzubeziehen. Sie bestimmen einerseits wesentlich die Modellgüte mit. Andererseits werden die relativen Verhältnisse, z. B. bezüglich des pflanzenverfügbaren Wassers zwischen

verschiedenen Bodentypen, vermutlich auch in Zukunft bestehen bleiben, so dass eine solche klassifizierte Variable als qualitative Größe sinnvoll für die Projektion ist.

Projektionen in die Zukunft sind grundsätzlich mit Unsicherheiten verbunden, deshalb können auch Verbreitungsmodelle nur ein Werkzeug zur Abschätzung von Klimawandeleffekten in der Landwirtschaft sein, sie geben Hinweise auf potentielle Probleme in der Unkrautbekämpfung.

Danksagung

Die vorliegende Studie wurde unterstützt durch das niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur innerhalb des KLIFF Forschungsverbunds (Klimafolgenforschung und Anpassung in Niedersachsen). Wir danken den zahlreichen Betreuern nationaler Vegetationsdatenbanken, die Vorkommensdaten zur Verfügung gestellt haben.

Literatur

- BAESSLER, C. und S. KLOTZ, 2006: Effects of changes in agricultural land use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agricult., Ecosys. and Env.* **115**, 43-50.
- BREITSAMETER, L., J. BÜRGER, B. EDLER, K. PETERS, B. GEROWITT und H.-H. STEINMANN, 2014: Klimafolgenforschung zu Ackerunkräutern - Daten, Methoden und Anwendungen auf verschiedenen Skalen. *Julius-Kühn-Archiv*, **443**.
- FRIED, G., E. KAZAKOU und S. GABA, 2012: Trajectories of weed communities explained by traits associated with species' response to management practices. *Agric. Ecosyst. Env.* **158**, 147 - 155.
- GARVE, E., 2007: Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen in Niedersachsen und Bremen. *Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen*. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hannover.
- GUNTON, R., S. PETIT und S. GABA, 2011: Functional traits relating arable weed communities to crop characteristics. *J. Veget. Sci.* **22**, 541-550.
- HUMANS, R. und J. v. ETEN, 2012: Raster: Geographic data analysis and modeling. <http://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- HUMANS, R., S. CAMERON, J. PARRA, P. JONES und A. JARVIS, 2005: Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Internat. J. Climatol.* **25** (15), 1965 - 1978.
- HYVÖNEN, T., M. LUOTO und P. UOTILA, 2012: Assessment of weed establishment risk in a changing European climate. *Agricult. Food Sci.* **21**(4), 348 - 360.
- KEITT, T., R. BIVAND, E. PEBESMA und B. ROWLINGSON, 2013: rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library. <http://CRAN.R-project.org/package=rgdal>.
- MCDONALD, A., S. RIHA, A. DITOMMASO und A. DE GAETANO, 2009: Climate change and the geography of weed damage: Analysis of U.S. maize systems suggests the potential for significant range transformations. *Agricult. Ecosyst. Env.* **130**(3), 131 - 141.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE und K. HURLE, 2005: Unkrautflora in Mais: Ergebnisse eines Monitorings in Deutschland. *Gesunde Pflanzen* **57** (8), 206 - 218.
- MEISSE, M., P. MOURON, T. MUSA, F. BIGLER, X. PONS, V. VASILEIADIS, S. OTTO, D. ANTICHI, J. KISS, Z. PLINKS, Z. DORNER, R. VAN DER WEIDE, J. GROTEN, E. CZEMBOR, J. ADAMCZYK, J. THIBORD, B. MELANDER, G. NIELSEN, R. POULSEN, O. ZIMMERMANN, A. VERSCHWELE und E. OLDENBURG, 2010: Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: Current status and future prospects. *J. Appl. Entomol.* **134**(5), 357 - 375.
- MOSELEY, C., O. PANFEROV, C. DÖRING, J. DIETRICH, U. HABERLANDT, V. EBERMANN, D. RECHID, F. BEESE und D. JACOB, 2012: Klimaentwicklung und Klimaszenarien. In: REGIERUNGSKOMMISSION KLIMASCHUTZ (Hrsg.): Empfehlungen für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels, 18-41.
- PATTERSON, D., 1995: Weeds in a changing climate. *Weed Sci.* **43**(4), 685 - 701.
- PEARSON, R. und T. DAWSON, 2003: Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Glob. Ecol. Biogeogr.* **12** (5), 361-371.
- PETERSON, A., J. SOBERÓN, R. PEARSON, R. ANDERSON, E. MARTÍNEZ-MEYER, M. NAKAMURA und M. ARAÚJO, 2011: Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press, Princeton, NJ, 314 S.
- PHILLIPS, S. J., R. ANDERSON und R. SCHAPIRE, 2006: Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* **190**(3-4), 231 - 259.
- POMPE, S., S. BERGER, J. BERGMANN, F. BADECK, J. LÜBBERT, S. KLOTZ, A. REHSE, G. SÖHLKE, S. SÄTLER, G. WALTHER und I. KÜHN: Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora und Vegetation in Deutschland. *BfN-Skripten* **304**, 193 S.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2012: QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R CORE TEAM, 2012: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- REDWITZ, C. VON, F. DE MOL und B. GEROWITT, 2011: Multivariate analysis of a maize field survey in Germany. *Proceedings 4th Workshop of the EWRS Working Group Weeds and Biodiversity*, 21.
- STRATONOVITCH, P., J. STORKEY und M. SEMENOV, 2012: A process-based approach to modelling impacts of climate change on the damage niche of an agricultural weed. *Glob. Change Biol.* **18** (6), 2071 - 2080.

Management zur Verminderung und Vermeidung von diffusen Herbizidausträgen durch Abschwemmung und Erosion in Oberflächengewässer

Best management practices to reduce and prevent water pollution with herbicides from run-off and erosion

Klaus Gehring

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising
klaus.gehring@lfl.bayern.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.049

Zusammenfassung

Die natürlichen Phänomene in Form von Abschwemmung (Run-off) und Erosion führen bei extremen Witterungsereignissen zu unvermeidbaren Gewässerbelastungen mit Pflanzenschutzmitteln (PSM). Der Herbizideinsatz ist hierbei aufgrund der spezifischen Anwendungsbedingungen ein besonders gefährdeter Einsatzbereich. In der EU-Rahmenrichtlinie 2009/128/EG für einen nachhaltigen Einsatz von PSM sind ambitionierte Ziele zur Verbesserung des Gewässerschutzes formuliert. Im nationalen Aktionsplan für die nachhaltige PSM-Anwendung sind quantitative Ziele formuliert, die ohne eine wesentliche Minimierung von diffusen Austrägen von PSM und Herbiziden durch Run-off und Erosion in Oberflächengewässern nicht erreicht werden können. Im europäischen TOPPS prowadis Projekt zur Verminderung von diffusen Austrägen in Gewässer wurden erstmals fundierte und feldtaugliche Verfahren zur Diagnose des spezifischen Run-off Risikos entwickelt. Durch die Zuordnung geeigneter und sachgerechter Minderungsmaßnahmen zu den jeweiligen Risiko-Klassen wurden harmonisierte Standards für eine gute fachliche Praxis für den vorbeugenden Gewässerschutz definiert. Die verschiedenen Diagnosemethoden und deren Anwendung werden beschrieben. Weiterführende Dokumente und Hintergrundinformationen sind online unter [<http://www.topps-life.org/>] abrufbar.

Stichwörter: Gewässerschutz, gute fachliche Praxis, nachhaltiger Pflanzenschutz, TOPPS prowadis Projekt, Umweltschutz

Abstract

The natural phenomenon of run-off and erosion lead to unpreventable pesticide water pollution in case of extreme weather conditions. In this relationship the use of herbicides involves a higher risk than other pesticides because of the specific terms of application. Directive 2009/128/EC for the sustainable use of pesticides aspires to enhanced water protection. German national action plan contains quantitative objectives which require strong reduction of water pollution by run-off and erosion of pesticides and accordingly herbicides. The European TOPPS prowadis project developed a consolidated and basic diagnosis concept for the first time to determine the field specific run-off risk. Compatible mitigation measures were linked to specific risk scenarios. Risk diagnosis and suitable mitigation measures determine best management practices for the prevention of run-off and erosion. Different new diagnosis methods and the implementation are presented. Further documents and information are available on the web [<http://www.topps-life.org/>].

Keywords: Surface water, sustainable use of pesticides, TOPPS prowadis project, water protection

Einleitung

Die Vermeidung und Verminderung von Wirkstoffverlusten aus der Anwendung von PSM in Umweltkompartimente, wie Oberflächengewässer, sind ein wesentliches Ziel der EU-Rahmenrichtlinie zum nachhaltigen Einsatz von PSM. Die Zielgrößen für den gewässerschonenden PSM-Einsatz sind in der Wasserrahmenrichtlinie definiert. Ein wesentlicher Teil der Belastung von Gewässern mit Pflanzenschutzmitteln ist darauf zurückzuführen, dass bestehende Regelungen zur sachgerechten Restentleerung und zur Reinigung der Pflanzenschutzgeräte noch nicht ausreichend umgesetzt werden. Während diese so genannten Punktquellen durch entsprechend sorgsame Handlungsweisen nahezu vollständig entschärft werden können, sind diffuse Eintragspfade aus landwirtschaftlichen Flächen durch Abdrift, Abschwemmung nach Niederschlagsereignissen oder über Drainagen wesentlich schwieriger zu kontrollieren. Die

Bestandsaufnahme zur Durchführung der Richtlinie 2006/11/EG hat ergeben, dass an einigen Oberflächengewässern in den Einzugsgebieten der deutschen Flüsse die Qualitätsziele für einen oder mehrere PSM-Wirkstoffe überschritten sind. Die Belastungen betreffen vor allem Gewässer mit einem großen Anteil landwirtschaftlicher Nutzflächen im Einzugsgebiet. Hierbei zeigt sich, dass die für den Naturhaushalt unbedenklichen Konzentrationen von PSM-Wirkstoffen besonders in Kleingewässern überschritten werden und ein guter chemischer und ökologischer Zustand nicht gegeben ist. Kleine Gewässer werden durch diffuse Einträge oder Punkteinträge relativ stärker belastet, da es nicht zu Verdünnungseffekten wie in großen Gewässern kommt. Die Ursachen der aktuellen Belastung dieser Gewässer mit PSM-Rückständen sind vielfältig und können nicht vollständig kontrolliert werden. Um den Eintrag von PSM in Grund- und Oberflächengewässer zu verhindern oder zu vermindern, gibt es zwar spezifische Vorsorgemaßnahmen, die kontinuierlich weiterentwickelt und an den Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden (z. B. Gerätetechnik, Abstandsaufgaben), weitergehende Maßnahmen sind jedoch erforderlich, um die Belastungssituation zu verbessern und einen guten chemischen und ökologischen Zustand für unsere Gewässer zu erreichen.

In Kohärenz zwischen Wasser- und Pflanzenschutzrecht wurde im Nationalen Aktionsplan (NAP) das Ziel definiert bis zum Jahr 2015 in Oberflächengewässern keine Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen (UQN) für prioritäre PSM und relevante Metabolite gemäß Oberflächengewässerverordnung zu verursachen. Ab dem Jahr 2018 wird angestrebt für nichtrelevante Metabolite eine Überschreitung des gesundheitlichen Orientierungswerts (GOW) zu verhindern. Diese außerordentlich ambitionierten Ziele sind allerdings ohne weitere, intensive Anstrengungen für eine Verminderung der Eintragspotenziale nicht realistisch erreichbar. Die zielgerichtete Implementierung von Risikominderungsmaßnahmen ist ohne eine standortspezifische Bewertung der jeweiligen Behandlungsflächen und Einzugsgebiete nicht möglich. Dieser Aufgabe stellt sich eine multinationale Arbeitsgruppe aus Vertretern der Forschung, der Officialberatung, der Privatberatung und der Pflanzenschutzmittelindustrie im Rahmen des vom europäischen Pflanzenschutzverband (ECPA) geförderten TOPPS-prowadis Projektes (TOPPS: Train Operators to Promote best Practices and Sustainability; prowadis: protect water from diffuse sources). In dem von 2011 bis 2014 terminierten Projektzeitraum werden in zwei Arbeitsgruppen, die sich aus Vertretern aus sieben europäischen Ländern zusammensetzen, praxistaugliche Verfahren zur Diagnose und Verminderung von diffusen PSM-Belastungen in Oberflächengewässern entwickelt und der Fachberatung wie auch den Landwirten zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden die Arbeitsergebnisse zur Verminderung und Vermeidung von Oberflächengewässerbelastrungen durch Abschwemmung/Run-off und Erosion dargestellt, die insbesondere für den umweltverträglichen Einsatz von Herbiziden relevant sind.

Material und Methoden

Das wesentliche Arbeitsprinzip besteht aus der Transformierung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Verfahren, z. B. auf GIS-Techniken basierende Risikobewertungs- und Prognosemodelle, in für die pflanzen- und umweltschutztechnische Fachberatung geeignete und effektive Hilfsmittel zur schlagspezifischen Klassifikation des jeweiligen Run-off-Risikos und damit auch zur Möglichkeit ein bestimmtes Gewässereinzugsgebiet beurteilen zu können und vorhandene Hot-Spots im Sinne des Gewässerschutzes zu detektieren. Auf Basis einer umfangreichen Literaturstudie wurden hierbei die bereits bei den französischen Projektpartnern ARVALIS Institut du vegetal (Boigneville) und IRSTEA Cemagref (Lyon) vorhandenen Risikobewertungsverfahren weiterentwickelt. Die Entwicklung der neuen Diagnoseverfahren wurde parallel in sieben europäischen Ländern in repräsentativen Projektgebieten durchgeführt. Hierbei wurde die Praxistauglichkeit der Diagnoseverfahren mit den verfügbaren wissenschaftlichen Standards abgeglichen. Im abschließenden Projektzeitraum wird die Effizienz der den flächenspezifischen Run-off Risikoklassen zugeordneten Verminderungs- und Vermeidungsmaßnahmen überprüft. Neben der wichtigen Aufgabe, neue und harmonisierte Standards für die gute fachliche Praxis zur Verminderung und Vermeidung von PSM Belastungen

durch Run-off und Erosion in Oberflächengewässern zu entwickeln, sind die Erstellung von Materialien für die Information, Schulung und Ausbildung von Landwirten, Beratern und Interessensvertretern und damit die Motivation und Aktivierung von möglichst vielen Beteiligten an der Umsetzung und Verbreitung verbesserter Verfahren für den Gewässerschutz weitere wesentliche Ziele des TOPPS-Projektes.

Ergebnisse

Gewässerbelastungen durch punktuelle Einträge könnten weitestgehend vermieden werden. Diffuse Einträge durch Run-off und Erosion unterliegen allerdings vielfältigen, standort- und jahrgangsspezifischen Einflussfaktoren. Insbesondere extreme Witterungsereignisse in Form von Starkregen können dazu führen, dass das Schutzpotenzial von sachgerechten Risiko-Reduktionsmaßnahmen überfordert wird. Diffuse Stoffeinträge in Oberflächengewässer durch Run-off und Erosion können daher grundsätzlich vermindert, aber nie vollständig vermieden werden. Die Herausforderung besteht darin, ein Risikominderungspotenzial zu ermitteln, das an die durchschnittlichen regionalen Witterungsbedingungen angepasst ist. Extreme Unwetterereignisse (z.B. Eintrittswahrscheinlichkeit einmal in 50 Jahren) können nicht die Basis für die Beratung und die Anwendung von Vermeidungsmaßnahmen sein.

Bei der fallspezifischen Betrachtung von Abflussereignissen können unterschiedliche Formen von Run-off und Erosion festgestellt werden. Eine typische Form von Run-off tritt besonders in Folge von Starkniederschlägen im Frühjahr und teilweise auch im Spätsommer auf, wenn der Boden aufgrund seiner Struktur, oder durch Störungen wie z.B. Verkrustung oder Verschlammung der Bodenoberfläche, die anfallende Niederschlagsmenge nicht mehr aufnehmen kann. Ein Sonderfall ist das Abtauen von Schnee auf gefrorenem Boden. Hier gibt es eine undurchlässige Schicht an der Bodenoberfläche, die eine Versickerung verhindert, was ebenfalls zu oberflächlichen Ablauf bzw. Run-off und Erosion führen kann (Abb. 1). Eine weitere wichtige Form von Run-off findet statt, wenn der Boden mit Wasser gesättigt ist und keine zusätzlichen Regenmengen im Boden mehr versickern können, oder die Versickerung aufgrund geringer Profiltiefe oder einer wasserundurchlässigen Schicht (z.B. Pflugsohle) gestört ist. Abfluss durch Übersättigung des Bodens ist ein Problem der Wasseraufnahmekapazität des Bodens und tritt vor allem im Winterhalbjahr auf, wenn der Gesamtniederschlag höher ist als die Speicherkapazität (Feldkapazität) des Bodens. Im Zusammenhang mit einem wasserübersättigten Boden können zwei spezifische Sonderformen von unterirdischem Run-off auftreten: Wenn Wasser in die obere Bodenschicht eindringt und dort auf eine undurchlässige Stauschicht (z. B. Gestein, Ton) trifft, fließt das Wasser im Unterboden seitwärts ab. Verglichen zum oberflächlichen Run-off stellt diese Situation von lateralem Sickerwasser ein geringeres Risiko für PSM-Einträge in das Oberflächenwasser dar. Aufgrund der relativ langsamen Wasserbewegung durch den Boden ist eine erhöhte Möglichkeit für Abbau und Absorption gegeben. Laterales Sickerwasser kann an Flussufern oder direkt an exponierten Stellen (Terrassen, Hangquellen) im Wassereinzugsgebiet auftreten. Der zweite Sonderfall von Run-off unterhalb der Oberfläche kann bei künstlich entwässerten, drainierten Flächen auftreten. Hier wird überschüssiges Wasser im Boden über das Drainagesystem in das nächste Oberflächengewässer abgeleitet. Oberflächlicher Run-off aufgrund überschrittener Wasseraufnahmekapazität wird damit reduziert. Im Drainage-Ablauf können allerdings zeitweise signifikante Mengen von PSM gefunden werden, vor allem wenn PSM nach einer Trockenperiode auf Böden mit starken Schrumpfrissen oder auf Böden mit bereits hoher Wassersättigung ausgebracht werden (BROWN VAN BEINUM und VAN BEINUM, 2009).

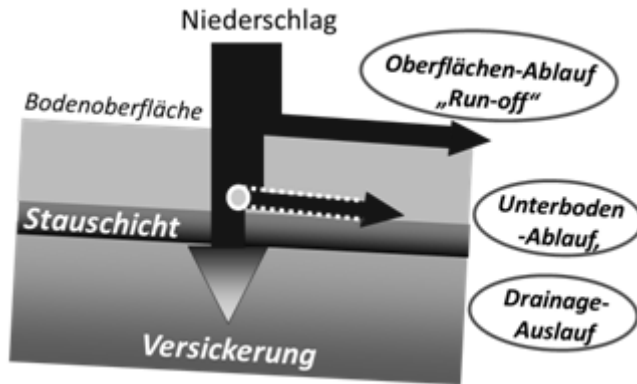


Abb. 1 Schema für das Auftreten unterschiedlicher Formen von Run-off.

Fig. 1 Diagram for the occurrence of different types of run-off.

Ein wichtiger Aspekt im Fall von oberflächlichem Ablauf ist die Konzentration von Run-off in durch die Bewirtschaftung entstandenen Strukturen (z. B. Fahrgassen, Reihenkulturen) oder den vorhandenen Landschaftsformen (Hang, Talweg bzw. Wassersammellinie). Konzentrierter Run-off tritt bei Starkregen auf und ist im Gelände durch Rinnen- bzw. Grabenerosion zu erkennen. Erosion führt zum Austrag von Bodenpartikeln mit dem Abflusswasser und damit von bodengebundenen Substanzen wie auch PSM-Wirkstoffen.

Für die Bestimmung des jeweiligen Austragsrisikos in einem Einzugsgebiet und den dazugehörigen Feldstücken ist eine sorgfältige Diagnose erforderlich. Hierdurch können die spezifisch erforderlichen und effizientesten Risiko-Minderungsmaßnahmen im Sinne der guten fachlichen Praxis (GfP) festgelegt werden. Die Diagnose des Run-off Risikopotenzials einer einzelnen Ackerfläche ist in der Regel Bestandteil der Bewertung eines Gewässereinzugsgebietes, für die im Vorfeld wichtige Daten und Informationen aus bereits vorhandenen Unterlagen und Datenbanken herangezogen werden. Die Feld-Diagnose ist erforderlich, um die vorhandenen Daten zu verifizieren bzw. zu vervollständigen und um insbesondere die spezifischen Bodenparameter (Struktur, Textur) für die Entwicklung von feldspezifischen Verfahren zur Risikominderung (GfP) zu ermitteln. Gelände- und Bodenparameter ändern sich häufig kleinräumiger, als es in Karten- bzw. GIS-Daten dargestellt werden kann. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Folgenden nur auf die schlagspezifische Risikobewertung eingegangen. Hierfür wurden fallspezifische Diagnosemethoden in Form einer Bewertungsmatrix entwickelt.

In Tabelle 1 ist die Bewertungsmatrix (D1) für die Diagnose des Run-off Risikos im Fall von begrenzter Infiltration des auftretenden Niederschlagswassers in den Oberboden dargestellt. Die Berücksichtigung der wesentlichen Einflussfaktoren erfolgt hierbei von links nach rechts. In Bezug auf die Lages des Feldes zu einem Oberflächengewässer ist eine Aufrennung in zwei unterschiedliche Bewertungspfade notwendig. Falls das zu bewertende Feld über ein hydraulische Verbindung zu einem Oberflächengewässer verfügt, muss in der zweiten Bewertungsebene die Permeabilität des Oberbodens durch Feldansprache hinsichtlich Verschlämmungsneigung bzw. Schluffanteil, Bodenart, Humusgehalt und Bodenstruktur erfolgen. Nachfolgend wird die Hangneigung nach drei Intensitätsstufen berücksichtigt und daraus eine resultierende Risikoklasse und Run-off Szenario definiert. Falls das zu bewertende Feld allerdings selbst keinen direkten Anschluss an ein Oberflächengewässer besitzt, ist zu beurteilen, ob auftretender Run-off über ein nachgelagertes Feld in ein Gewässer gelangen kann.

Tab. 1 Bewertungsmatrix für die Klassifikation des Run-off Risikos aufgrund begrenzter Infiltration (D1).

Tab. 1 Dashboard for the diagnosis of run-off and erosion in case of infiltration restriction (D1).

Lage zum Gewässer	Permeabilität Oberboden	Hangneigung	Risiko Klasse & Szenario*
Feld mit Gewässer verbunden (angrenzend, bzw. Wasserabfluss in Gewässer möglich)	niedrig	steil (> 5%)	hoch I7
		mittel (2-5%)	hoch I6
		flach (< 2%)	mittel I4
	mittel	steil (> 5%)	hoch I5
		mittel (2-5%)	mittel I3
		flach (< 2%)	niedrig I2
	hoch	steil (> 5%)	mittel I3
		mittel (2-5%)	niedrig I2
		flach (< 2%)	sehr niedrig I1
Feld <u>nicht</u> mit Gewässer verbunden	Run-off in tiefer liegendes Feld?	ja	Run-off erreicht Gewässer?
			ja
	nein	ja	sehr niedrig T2
nein		sehr niedrig T1	

*) „I“ steht für Infiltration und „T“ für Transfer.

Die zweite Matrix zur Bewertung des Run-off Risikos infolge von Wasserübersättigung (D2) gestaltet sich umfangreicher. Auch hier muss als erstes die hydraulische Anbindung an ein vorhandenes Gewässer geklärt werden. Im Fall einer direkt möglichen Verbindung sind die Faktoren Drainage, Topographie, Permeabilität des Unterbodens und die Wasserhalte- bzw. -speicherkapazität für die Ermittlung einer spezifischen Risikoklasse und Run-off Szenarios zu beurteilen. Für die Bewertung der Unterbodenpermeabilität und Wasserspeicherkapazität ist hierbei eine Aufnahme des Bodenprofils notwendig. Falls das jeweilige Feld keine direkte Anbindung an ein Gewässer besitzt ist wiederum die Möglichkeit eines Transfers zu klären.

Im Regelfall sind beide Bewertungsverfahren (D1 und D2) für das zu beurteilende Feld durchzuführen. Die Diagnose und Bewertung von konzentriertem Run-off und Erosion ist dagegen nur erforderlich, wenn es regelmäßig bei ortsüblichen Niederschlagsereignissen zu entsprechend konzentriertem Run-off kommt. In der hierfür konzipierten Bewertungsmatrix (D3) wird überprüft, ob konzentrierter Run-off in dem zu beurteilenden Feld entsteht oder aus einer höher gelegenen Fläche eingetragen wird. Im Weiteren wird die Form und Intensität des Run-off, hydromorphe Bodenmerkmale und die Infiltrationsfähigkeit von nachgelagerten Puffersystemen bewertet.

Für die Erstellung der verschiedenen Diagnosen wurde ein Feldhandbuch erarbeitet, in dem neben Formblättern für die Dokumentation der Ergebnisse auch Unterlagen für die Bodenansprache enthalten sind. Die Diagnosekonzepte, das Feldhandbuch, ein Kompendium zur guten fachlichen Praxis für die Risikominderung von Run-off Gewässerbelastungen, ein Praxisratgeber und weiterführende Literatur und Informationsmaterialien sind auf der Online-Präsenz [<http://www.topps-life.org/>] verfügbar.

Tab. 2 Bewertungsmatrix für die Klassifikation des Run-off Risikos aufgrund von Wasserübersättigung (D2).

Tab. 2 Dashboard to assess the risk for run-off due to saturation excess (D2).

Lage zum Gewässer	Drainage	Topographie	Permeabilität Unterboden	Feldkapazität (nFK*)	Risiko Klasse & Szenario
Feld <u>grenzt an</u> Gewässer	nein	Hangfuß, Tallage	Pflugsohle <u>und</u> Stauschicht	...	hoch S4
			Pflugsohle, oder Stauschicht	< 120 mm	hoch S4
				> 120 mm	mittel S3
			durchlässig	< 120 mm	mittel S3
		> 120 mm		niedrig S2	
		Hangkopf, einheitliches Gefälle	Pflugsohle <u>und</u> Stauschicht	...	hoch S4
			Pflugsohle, oder Stauschicht	< 120 mm	mittel S3
				> 120 mm	niedrig S2
	durchlässig		< 120 mm	niedrig S2	
		> 120 mm	sehr niedrig S1		
	ja	alle Lagen	Pflugsohle <u>und</u> Stauschicht	...	mittel SD3
			Pflugsohle, oder Stauschicht	< 120 mm	mittel SD3
> 120 mm				niedrig SD2	
durchlässig			< 120 mm	niedrig SD2	
			> 120 mm	sehr niedrig SD1	
Feld <u>grenzt nicht an</u> Gewässer			Runoff in unterliegendes Feld?	ja	Runoff erreicht Gewässer?
	nein	niedrig T2			
	nein	sehr niedrig T1			

*) nFK = nutzbare Feldkapazität nach Feldansprache

„S“ steht für Wassersättigung, „SD“ für Wassersättigung mit Drainage und „T“ für Transfer.

Tab. 3 Bewertungsmatrix für die Klassifikation von konzentriertem Run-off (D3).

Tab. 3 Dashboard for the diagnosis of concentrated run-off and erosion (D3).

Run-off entsteht im Feld?	Run-off Formen/Intensität und Bodenmerkmale	Risiko-Klasse	
Nein	Run-off kommt aus einer höher liegenden Fläche	C1	
JA	Run-off ist in Fahrgassen konzentriert	C2	
	Run-off verstärkt am Feld-Ende	C3	
	Run-off vor allem an der Feld-Zufahrt	C4	
	Run-off in Rinnen/Rillen	Boden nicht hydromorph	C5
		Boden hydromorph	C6
	Run-off im Talweg bzw. der Wassersammellinie	Boden nicht hydromorph	C7
		Boden hydromorph	C8
	Konzentrierter Run-off <u>ohne</u> Grabenerosion im Talweg		C9
	Run-off <u>mit</u> Grabenerosion im Talweg	Hohe Infiltration im Puffer	C10
		Niedrige Infiltration im Puffer	C11

„C“ steht für konzentrierten Run-off.

Auf Basis der feldspezifischen Risikodiagnose sind geeignete und dem jeweiligen Risikograd angepasste Minderungsmaßnahmen anzuwenden. Den einzelnen Risikoklassen und Szenarien sind entsprechend geeignete Maßnahmen zur Verminderung des Risikos für Run-off und Erosion zugeordnet. Sie betreffen im Wesentlichen unterschiedliche Verfahren der Bodenbearbeitung, Anbaumethoden, Puffer- und Rückhaltesysteme, die Bewässerungssteuerung und den angepassten Einsatz von PSM. Entsprechend angepassten Verfahren der Bodenbearbeitung und Anbaumethoden kommt hierbei die größte Bedeutung zu, da sie auf die Vermeidung der Entstehung von Run-off und Erosion in der Fläche abzielen. Die einzelnen Maßnahmen zielen dabei auf die Verbesserung der Wasseraufnahme- und Wasserspeicherefähigkeit des jeweiligen Standortes ab. Neben der Verminderung oder Vermeidung von Run-off und Erosion wirken sie auch hinsichtlich der Rückhaltung von Nährstoffausträgen und fördern die nachhaltige Ertragsfähigkeit. Im Bereich der Bodenbearbeitung sind dies im Wesentlichen Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung, die je nach Intensität des spezifischen Run-off Risikos den Bereich eines temporären Verzichts auf tief-wendende Bodenbearbeitung bis hin zu Direktsaatverfahren umspannen. Die Vermeidung von Strukturschäden in Form von Oberboden- und Untergrundverdichtungen sichert die standortspezifische Wasseraufnahmefähigkeit ab. Eine wichtige Bedeutung kommt auch dem Fahrgassenmanagement und der Technik der Saatbettbereitung zu. Die Anpassung der Anbaumethoden hinsichtlich Fruchtfolge, Kulturwechsel im Geländeverlauf, Anbau entlang der Hanglinien oder regelmäßiger Zwischenfruchtanbau wirkt sowohl direkt auf die unmittelbare Anfälligkeit gegenüber Run-off und Erosion als auch langfristig hinsichtlich der nachhaltigen Verbesserung der Bodenstruktureigenschaften des Standortes. Bei der Implementierung der jeweiligen Maßnahmen ist neben der risikospezifischen Notwendigkeit für die Intensität und Kombination verschiedener Maßnahmen auch die sozioökonomische Akzeptanz der betroffenen landwirtschaftlichen Betriebe zu berücksichtigen. Hierbei kann eine Vernetzung von Maßnahmenprogrammen zwischen den Betrieben eines Einzugsgebietes genauso hilfreich sein, wie ein gegebenenfalls möglicher finanzieller Ausgleich im Rahmen von Förderprogrammen zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit.

Beim PSM-Einsatz kommt der Herbizidbehandlung eine besondere Bedeutung zu, weil diese Mittel in der Regel in einem sehr frühen Stadium der jeweiligen Feldkultur eingesetzt werden, in dem der weitgehend offene Boden ein hohes Run-off Risiko bei stärkeren Niederschlagsereignissen aufweist (BAKER und MICKELSON, 1994). Nicht alle Herbizid-Wirkstoffe sind in der gleichen Art und Weise von einem möglichen Austrag durch Run-off betroffen. Eher polare Substanzen werden vor allem in gelöster Form vom abfließenden Wasser mit verfrachtet, während hydrophobe Substanzen vorwiegend in adsorbierter Form durch Sedimentverlagerung (Erosion) ausgetragen werden können. Die spezifischen Stoffeigenschaften bestimmen die Art und Weise und das Risikopotenzial für eine Verlagerung durch Wasserabfluss bei Run-off und Erosion. Die Hauptmerkmale Persistenz und Mobilität im Boden charakterisieren das Verhalten der Wirkstoffe nach der Ausbringung. Da für Berater und Anwender die für die Bewertung dieser Faktoren notwendigen Daten in der Regel nicht verfügbar sind, ist die Berücksichtigung der mit der Zulassung ausgesprochenen Anwendungsbestimmungen hinsichtlich des Abschwemmungsrisikos auf Hangflächen ein wichtiges Kriterium für die spezifische Risikoeinstufung einzelner Präparate. Für alle Herbizide gilt allerdings, dass für den Austrag in Oberflächengewässer, unabhängig ob partikelgebunden durch Erosion oder in Wasser gelöst durch Run-off, das Belastungspotenzial stark vom zeitlichen Abstand zwischen der Behandlung und dem Austragsereignis abhängig ist. Starkniederschläge kurz nach einer Behandlungsperiode stellen daher das höchste Belastungspotenzial in einem Einzugsgebiet dar. Der witterungsbezogenen Einsatzplanung kommt daher im Rahmen der anwendungstechnischen Möglichkeiten eine wichtige Bedeutung zu. Spätere Nachauflaufbehandlungen auf einen gegebenenfalls bereits geschlossenen Kulturbestand haben hierbei ein grundsätzlich geringeres Run-off Risiko als Vorauflauf- oder sehr frühe Nachauflaufbehandlungen.

Diskussion

Die Verminderung und Vermeidung von Gewässerbelastungen durch Run-off und Erosion von PSM ist eine wichtige Aufgabe für die Weiterentwicklung eines möglichst umweltverträglichen PSM-Einsatzes in der Landwirtschaft. Neben den direkten positiven Effekten durch die Schonung der aquatischen Ökosysteme und den aktiven Grund- und Trinkwasserschutz als unverzichtbare Lebensgrundlage kann durch erfolgreiche und flächendeckende Maßnahmen zur Risikominimierung auch die Verfügbarkeit einer ausreichenden Anzahl an PSM und Herbiziden abgesichert werden. Ein Verlust an einsatzfähigen Wirkstoffen hat nicht nur negative Konsequenzen für die jeweilige Indikation bzw. die Effizienz der Unkrautkontrolle; weniger Wirkstoffe führen auch verstärkt zu Problemen im Bereich der Herbizidresistenz und zur relativen Steigerung des Einsatzumfangs der verbleibenden Wirkstoffe, was wiederum ein erhöhtes Umweltbelastungspotenzial verursachen kann.

Das natürliche Phänomen von Run-off und Erosion ist durch multifaktorielle, nicht-lineare Prozesse in der Entstehung und der jeweils auftretenden Intensität gekennzeichnet (BLANCHARD und LEARCH, 2000). Weiterhin sind wesentliche Faktoren für das Auftreten von Run-off- und Erosionsereignissen nicht regulierbar. Die vorbeugende Implementierung von sachgerechten und situationsbezogenen Risikominderungsmaßnahmen ist daher eine erhebliche Herausforderung für die Fachberatung und erfordert eine hohe Motivation bei der Anwendung und nachhaltigen Umsetzung auf Seiten der Landwirtschaft. Hierbei kommt erschwerend hinzu, dass die Auswirkungen von Run-off Minderungsmaßnahmen häufig nicht unmittelbar erkennbar sind und/oder nur sehr zögerlich wirksam werden (MEALS *et al.*, 2010). Andererseits haben Maßnahmen zur Verminderung von Run-off und Erosion neben der Reduzierung der PSM-Gewässerbelastung regelmäßig auch positive Effekte hinsichtlich der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, der Standortertragsleistung und der Begrenzung von Nährstoffverlusten (REICHENBERGER *et al.*, 2007).

Die im Rahmen des TOPPS-prowadis Projektes entwickelten Diagnosemethoden und Standards für eine gute fachliche Praxis zur Minimierung der Gewässerbelastung sind effiziente und praktikabel anwendbare Verfahren. Hiermit stehen der Fachberatung erstmals fundierte und felddaugliche Methoden zur Verfügung, um die komplexen Prozesse von Run-off und Erosion in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft positiv zu beeinflussen und damit zu einer Verbesserung des Gewässerschutzes und des nachhaltigen PSM-Einsatzes beizutragen (AGNEW *et al.*, 2006).

Literatur

- AGNEW, L. J., S. LYON, P.G. MARCHANT, V.B. COLLINS, A.J. LEMBO, T.S. STEENHUIS und M.T. WALTER, 2006: Identifying hydrologically sensitive areas: bridging the gap between science and application. *Journal of Environmental Management* **78**(1), 63–76.
- ANBUMOZHI, V., J. RADHAKRISHNAN und E. YAMAGI, 2005: Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecological Engineering* **24**, 517–523.
- ANGIER, J. T., G.W. MCCARTY, C.P. RICE und K. BIALEK, 2002: Influence of riparian wetland on nitrate and herbicides exported from an agricultural field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**, 4424–4429.
- BAKER, J. L. und S.K. MICKELSON, 1994: Application technology and best management practices for minimizing herbicide run-off. *Weed Technology* **8**, 862–869.
- BANASIK, K. und L. HEJDUK, 2012: Long-term changes in run-off from a small agricultural catchment. *Soil and Water Res.* **7**, 64–72.
- BLANCHARD, P.E. und R.N. LEARCH, 2000: Watershed vulnerability to losses of agricultural chemicals: interactions of chemistry, hydrology, and land use. *Environ. Sci. Technol.* **34**, 3315–3322.
- BROWN, C.D. und W. VAN BEINUM, 2009: Pesticide transport via sub-surface drains in Europe. *Environmental Pollution*. **157**, 3314–3324.
- DABNEY, S.M., M.T. MOORE und M.A. LOCKE, 2006: Integrated management of in-field, edge-of-field, and after-field buffers. *Journal of American Water Resources Association* **42**, 15–24.
- FAWCETT, R. S., B.R. CHRISTENSEN und D.P. TIERNEY, 1994: The impact of conservation tillage on pesticide run-off into surface water: A review and analysis. *Journal of Soil and Water Conservation* **49**(2), 126–135.
- FIENER, P. und K. AUERSWALD, 2003: Effectiveness of grassed waterways in reducing run-off and sediment delivery from agricultural watersheds. *J. Environ. Qual.* **32**, 927–936.
- FLANAGAN, D. C., G.R. FOSTER, W.H. NEIBLING und J.P. BURT, 1989: Simplified equations for filter strip design. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **32**, 2001–2007.

- GHIDEY, F., C. BAFFAUT, R.N. LERCH, N.R. KITCHEN, E.J. SADLER und K.A. SUDDUTH, 2010: Herbicide transport to surface run-off from a claypan soil: Scaling from plots to fields. *Journal of Soil and Water Conservation* **65(3)**, 168–179.
- KRUTZ, L. J., S.A. SENSEMAN, R.M. ZABLOTOWICZ und M.A. MATOCHA, 2005: Reducing herbicide run-off from agricultural fields with vegetative filter strips: a review. *Weed Science* **53**, 353–367.
- LACAS, J. G., M. VOLTZ, V. GOUY, *et al.*, 2005: Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **25**, 253–266.
- LEU, C., M.K. SCHNEIDER und C. STAMM, 2010: Estimating Catchment Vulnerability to Diffuse Herbicide Losses from Hydrograph Statistics. *J. Environ. Qual.* **39**, 1441–1450.
- LOWRANCE, R., S. DABNEY und R. SCHULTZ, 2002: Improving water and soil quality with conservation buffers. *J. Soil Water Conserv.* **57**, 36–43.
- MEALS, D. W., S.A. DRESSING und T.E. DAVENPROT, 2010: Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices – A Review. *J. Environ. Qual.* **39**, 85–96.
- NORRIS, V., 1993: The use of buffer zones to protect water quality – a review. *Water Resources Management* **7**, 257–272.
- OTTO, S., A. CARDINALI, E. MAROTTA, C. PARADISI und G. ZANIN, 2012: Effect of vegetative filter strips on herbicide run-off under various types of rainfall. *Chemosphere* **88**, Issue 1, 113–119.
- POPOV, V. H., P.S. CORNISH und H. SUN, 2006: Vegetated biofilters: the relative importance of infiltration and adsorption in reducing loads of water-soluble herbicides in agricultural run-off. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **114**, 351–359.
- PROKOPY, L. S., K. FLORESS, D. KLOTTHOR-WEINKAUF und A. BAUMGART-GETZ, 2008: Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation* **63(5)**, 300–311.
- RABOTYAGOV, S. S., M.K. JHA und T. CAMPBELL, 2010: Impact of crop rotations on optimal selection of conservation practices for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation* **65(6)**, 369–380.
- RANKINS, A., D.R. SHAW und M. BOYETTE, 2001: Perennial grass filter strips for reducing herbicide losses in run-off. *Weed Science* **49**, 647–651.
- RANKINS, A., D.R. SHAW und J. DOUGLAS, 2005: Response of perennial grasses potentially used as filter strips to selected postemergence herbicides. *Weed Technology* **19**, 73–77.
- REICHENBERGER, S. M. BACH, A. SKITSCHAK und H. FREDE, 2007: Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; a review. *Science of the Total Environment* **384**, 1–35.
- SHIPITALO, M. J. AND L.B. OWENS, 2006: Tillage system, application rate, and extreme event effects on herbicide losses in surface run-off. *J. Environ. Qual.* **35**, 2186–2194.
- ZHANG, X., L. XINGMEI, M. ZHANG, R.A. DAHLGREN und M. EITZEL, 2010: A Review of Vegetated Buffers and a Meta-analysis of Their Mitigation Efficacy in Reducing Nonpoint Source Pollution. *J. Environ. Qual.* **39**, 76–84.

Unkrauterkenung mit Hilfe unbemannter Luftfahrzeuge

Weed detection using unmanned aircraft vehicles

Michael Pflanz*, Dominik Feistkorn und Henning Nordmeyer

Julius Kühn-Institut (JKI)

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig

*Korrespondierender Autor, michael.pflanz@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.050

Zusammenfassung

Für eine teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln ist es notwendig die räumliche Variabilität einer landwirtschaftlichen Kulturfläche zu identifizieren. Hierfür können Satellitenbilder oder Aufnahmen von bemannten Befliegungen genutzt werden. Flexibler und kostengünstiger ist jedoch der Einsatz unbemannter Fluggeräte zur Fernerkundung. Besonders die stabilen Flugeigenschaften von Multirotorfliegern sind für Luftaufnahmen mit einfachen optischen Systemen geeignet.

Ein kompakter Multikopter (unmanned aircraft vehicle) wurde mit einer modifizierten RGB Kamera (Sony alpha NEX-5N) ausgestattet und es erfolgten Testflüge über verunkrauteten Ackerflächen. Der verwendete Hexakopter (sechs Rotoren) verfügt über einen GPS-gesteuerten Autopiloten und operiert in vorgegebener geringer Flughöhe (5 bis 10 m). Bezüglich der Flughöhe, der Bildauflösung und des Entwicklungsstandes von Unkraut und Kulturpflanze wurden verschiedene Szenarios von photogrammetrischer Unkrauterkenung (Feldversuche und Halbfreiland) durchgeführt.

Die bisherigen Versuche mit dem Kopter deuten auf ein hohes Potential für eine räumlich aufgelöste Unkrautkontrolle hin. Durch die Analyse der georeferenzierten Einzelbilder und ihrer spektralen Segmentierung konnten Unkrauthäufungen im Gesamtbestand identifiziert werden. Diese raumbezogenen Informationen werden bei der Applikation von Herbiziden auf ausgewählten Standorten berücksichtigt.

Stichwörter: Herbizidapplikation, Präzisionslandwirtschaft, teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung, UAV, Unkräuter, Unkrautverteilung

Abstract

In contrast to agricultural remote sensing technologies, which are based on images from satellites or manned aircrafts, photogrammetry at low altitude from unmanned aircraft vehicles lead to higher spatial resolution, real-time processing and lower costs. Moreover multicopter aircrafts are suitable vehicles to perform precise path or stationary flights. In terms of vegetation photogrammetry this minimises motion blur and provide better image overlapping for stitching and mapping procedures. Through improved image analyses and through the recent increase in the availability of powerful batteries, microcontrollers and multispectral cameras, it can be expected in future that spatial mapping of weeds from low altitudes will be promoted.

A small unmanned aircraft vehicle with a modified RGB camera was tested taking images from agricultural fields. A microcopter with six rotors was applied. The hexacopter in particular is GPS controlled and operates within predefined areas at given altitudes (from 5 to 10 m). Different scenarios of photogrammetrically weed detection have been carried out regarding to variable altitude, image resolution, weed and crop growth stages.

First experiences with microcopter showed a high potential for site-specific weed control. Images analyses with regards to recognition of weed patches can be used to adapt herbicide applications to varying weed occurrence across a field.

Keywords: Herbicide application, precision Farming, UAV, site specific weed control, weed distribution, weeds

Einleitung

Eine präzise Applikation von Pflanzenschutzmitteln (PSM) trägt dazu bei, Pflanzenschutzmaßnahmen auf das notwendige Maß zu begrenzen. Insbesondere die Applikation von Herbiziden bietet bei einem Auftreten von Unkrautnestern Möglichkeiten für teilflächenspezifische Anwendungen. Voraussetzung dafür ist die Erfassung und Analyse raumbezogener Unkrautinformationen. Dazu gehören die Erkennung von Unkrautarten und deren Dichte sowie

ihre räumliche Verteilung auf einer Fläche (HÄUSLER und NORDMEYER, 1999; NORDMEYER, 2006; LÓPEZ-GRANADOS, 2011). Während manuelle Bonituren zu kostenintensiv und folglich unwirtschaftlich sind (OEBEL, 2006), kann die Unkrauterfassung stattdessen automatisiert in online bzw. offline-Verfahren erfolgen (KLUGE, 2012).

Online-Verfahren arbeiten zeitlich integrierend, d.h. die sensorische Unkrauterfassung erfolgt kontinuierlich und unmittelbar vor einer Applikation. Da bei diesen Verfahren Aufwandmengen an PSM im Voraus nicht kalkulierbar sind, verbleiben bei gängiger Applikationstechnik PSM-Restmengen. Darüber hinaus ist die maximale Fahrgeschwindigkeit bei Online-Verfahren von der Rechenkapazität des Auswertesystems abhängig.

Offline-Verfahren der Unkrauterfassung entkoppeln die sensorische Erkennung und die Herbizidapplikation. Zwar ist hierbei mit zusätzlichem Aufwand durch mehrmalige Befahrung oder Befliegung zu rechnen, in der Regel können die Kosten jedoch kompensiert werden, da Aufwandmengen genauer kalkulierbar sind und folglich weniger Restmengen verbleiben (KLUGE, 2011). Für einen nachhaltigen Pflanzenschutz ist es desweiteren möglich, die Unkrautausbreitung über größere Zeiträume zu dokumentieren und in Modellrechnungen für die künftigen Herbizidapplikationen einzubeziehen.

Bereits seit mehreren Jahrzehnten werden Offline-Verfahren zur Vegetationsfernerkundung genutzt. Häufig werden Satellitenbilder (ROUSE *et al.*, 1974; BANNARI *et al.*, 1995; JOHNSON *et al.*, 2001; SIMS und GAMON, 2003) oder Aufnahmen aus bemannten Befliegungen analysiert, um die räumliche Variabilität einer landwirtschaftlichen Kulturfläche zu identifizieren und Kulturmaßnahmen teilflächenspezifisch anzupassen. Die photogrammetrische Flächenleistung ist bei diesen Verfahren auf Grund der Flughöhe sehr groß. Allerdings müssen die verwendeten Kamerasysteme bezüglich der Abbildungsleistung hohe Anforderungen erfüllen (Tab. 2). Von Nachteil sind darüber hinaus die geringe zeitliche Verfügbarkeit von Rohdaten, die hohen Kosten und die relativ geringe räumliche Auflösung.

Alternativ wecken der technologische Fortschritt bei der Entwicklung von Systemen zur autonomen Flugsteuerung und die verbesserte Bildverarbeitung ein stark gestiegenes Interesse an unbemannten Fluggeräten. In einer Gewichtsklasse bis 5 kg können in Deutschland Aufstiegsgenehmigungen entweder pauschal oder mit geringen Auflagen erteilt werden (LuftVG und LuftVO, 2012). Die Nutzkapazitäten der Fluggeräte reichen aus, um Kompakt- oder hochwertige Systemkameras zu transportieren. Besonders die stabilen Flugeigenschaften von Multirotorfliegern sind für Luftaufnahmen mit einfachen optischen Systemen geeignet. Die Flächenleistung eines UAV (Unmanned Aircraft Vehicles) ist im Wesentlichen abhängig von der Flugzeit, der Flughöhe und der Brennweite der Kamera (NIEMEYER, 2013). UAVs können zur Fernerkundung sehr flexibel eingesetzt werden (GOMEZ-CANDON *et al.*, 2011; LEBOURGEOIS, 2012) und ihr Potential für praktische Anwendungen in der Landwirtschaft wurde bereits beschrieben (LELONG *et al.*, 2008; SCHMALE *et al.*, 2008; HARDIN und JENSEN, 2011; LALIBERTE *et al.*, 2011; XIANG und TIAN, 2011). Im Zusammenhang mit photogrammetrischen Methoden zur Unkrauterfassung mit UAVs aus geringen Flughöhen gibt es bislang nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen. In einzelnen Versuchen wurden Flughöhen zwischen 2 und 100 m zur Erkennung von Unkrautnestern gewählt (PENA-BARRAGAN *et al.*, 2012; RASMUSSEN *et al.*, 2013).

Material und Methoden

Für die Befliegung der Versuchsflächen wurde ein Multikoptersystem mit sechs Rotoren (Hexakopter) eingesetzt. Das Basisgerät entspricht einem Hexa XL (HiSystems GmbH Moormerland, Deutschland), wobei die Flugsteuerung und das GPS-Interface modifiziert wurden (CIS GmbH, Rostock-Bentwisch, Deutschland). Die maximale Nutzlast beträgt etwa 1500 g. Mit Hilfe des GPS-gesteuerten Autopiloten kann der Kopter seine Position automatisch halten und einer vordefinierten Flugroute folgen (Weg-Punkte-Flug). Der Start des Kopters erfolgt manuell bzw. halbautomatisch mit Hilfe einer handelsüblichen Fernsteuerung aus dem Modellbereich (Graupner SJ MX-16, Deutschland). Die Landung wird durch eine automatische Abstandsmessung

zum Boden (Ultraschall-Sensor) abgesichert. Das Gesamtgewicht des Kopters (mit Kamera) beträgt etwa 3200 g inklusive zwei leistungsstarken Lithium-Eisen-Polymer-Akkus mit einer Kapazität von 6600 mAh. In Abhängigkeit zur Nutzlast kann eine Flugzeit von 10-15 Minuten erreicht werden. Die Flugsteuerung enthält neben einem GPS-Modul weitere Sensoren für die Beschleunigung und ein Kreiselinstrument.



Abb. 1 Hexakopter auf den Versuchsflächen des JKI.

Fig. 1 Hexakopter on field trials.

Kamera

Die Aufnahme von Einzelbildern aus geringer Flughöhe erfolgte mit einer modifizierten RGB Kompaktkamera (NEX 5N, Sony, Japan). Die maximale Auflösung beträgt 4912 x 3264 Bildpunkte (23,5 x 15,6 mm APS-C Sensor). Das verwendete Objektiv hat eine Brennweite von 16 mm (Sony alpha NEX-5N, Japan). Im Rahmen von Feldversuchen erfolgten Aufnahmen aus 10 m Flughöhe. Der Kopter folgte hierzu einer vorgegebenen Route (Routenplanung). In einem Zeitintervall von vier Sekunden wurden kontinuierlich Bilder der Versuchsfläche aufgezeichnet. Ein Weg-Punkte-Flug befindet sich in der Erprobungsphase. Im Anschluss an die Messungen auf dem Feld wurden die Bilder mit Hilfe der Koptersoftware UAVmobile/UAV-Gis (CIS GmbH, Rostock-Bentwisch, Deutschland) zusammengesetzt (Mosaiking) und georeferenziert.

Freilandversuch

Für die Identifizierung von Unkrautnestern (Spätverunkrautung) wurde eine Winterweizenfläche in einer Höhe von 10 m überflogen. Die Fläche befindet sich im Norden Braunschweigs (52°22'14.37" N, 10°35'44.49" E, Abb. 2a). Der Weizen befand sich zum Zeitpunkt der Aufnahmen im Entwicklungsstadium größerer BBCH 71. Von der photogrammetrisch aufgenommenen Gesamtfläche (Abb. 2b) wurde eine Teilfläche von 525 m² gewählt (Abb. 2c) und pixelbasiert segmentiert (Abb. 2d). Die erkannten Distelnester wurden anschließend manuell markiert (Abb. 2e und f) und als potentielle Behandlungsfläche bezogen auf die Gesamtfläche berechnet (Image Processing Toolbox V8.2, Matlab 8.1, The Mathworks, USA).

Halbfreilandversuche

Zur Abschätzung der Bildauflösung der Kopterkamera aus einer realen Flughöhe von 5 bis 10 m wurden weitere Versuche unter Halbfreilandbedingungen durchgeführt. Es wurden typische Ackerunkräuter wie *Chenopodium album* L. (CHEAL), *Matricaria inodora* L. (MATIN) und *Veronica hederifolia* L. (VERHE) in flachen Pflanzschalen (400 x 600 x 10mm) ausgesät und aus einer fest eingestellten Höhe von 8,15 m manuell fotografiert. Die Aufnahmen wurden zu unterschiedlichen Terminen im 1 bis 4-Blattstadium der Unkräuter erstellt.

Getestet wurden unterschiedliche Brennweiten (Tab. 1) verschiedener Objektive. Hierzu wurden die Kopterkamera und eine Spiegelreflexkamera (EOS 400D, Canon, Japan) mit Objektiven

unterschiedlicher Brennweite getestet (Canon EF-S 1:3.5-5.6, 18-55 mm, Japan und Voigtländer Skopar 1:4.5-5.6, 70-300m, Sigma, Deutschland).

Tab. 1 Auflistung der getesteten Brennweiten und Objektive in einer fest eingestellten Höhe über dem Pflanzenbestand.

Tab. 1 List of focal distances and lenses studied in terms of low altitudes.

Objektiv	Kamera	Brennweite in mm
Sony	Sony	16
Canon	Canon	18, 24, 35, 55
Voigtländer	Canon	70, 100, 135, 200, 300

Bildanalyse

Die Analyse der Bilder zur Errechnung der Unkrautverteilung erfolgte mit Hilfe der Web-Applikation „Imaging Crop Response Analyser“ (<http://imaging-crops.dk>, Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen). Diese Methode bestimmt die Anzahl grüner Pixel (Pflanzen) im Bild und gibt das Verhältnis zur Gesamtpixelanzahl als Pflanzendeckungsgrad an. Basierend auf einer gewichteten Farbsegmentierung der Kanäle rot (R), grün (G) und blau (B) und einer automatischen Schwellwertfindung im Graustufenbild werden grüne Pflanzenteile von der Bodenoberfläche, Schatten, Steinen und totem Pflanzenmaterial segmentiert (Rasmussen, 2007).

Ergebnisse

Die in 10 m Höhe mit Hilfe des Hexakopter photogrammetrisch aufgenommene Gesamtfläche beträgt $285 \times 75 \text{ m} = 21375 \text{ m}^2$ (Abb. 2b) und wurde aus Einzelaufnahmen mosaikiert. Auf der ausgewählten Teilfläche von 525 m^2 (Abb. 2b und c) wurde die Häufung und die Verteilung von Distelnestern bestimmt. Hier liegt der Anteil bei 0,28 % der Anzahl an Gesamtpixel bzw. $1,47 \text{ m}^2$ der untersuchten Fläche (Abb. 2d). In den manuell festgelegten Flächensegmenten ergibt sich für eine teilflächenspezifische Herbizidbehandlung ein Anteil von 12,8 % bzw. $67,2 \text{ m}^2$ Disteln an der untersuchten Teilfläche (Abb. 2f). Eine Unterscheidung nach Unkrautarten konnte auf Grund der geringen Bildauflösung nicht erfolgen.

Um die Erkennung von Einzelpflanzen in künftigen Befliegungen zu verbessern, wurde der Zusammenhang zwischen Flughöhe, Bildauflösung und Brennweite des verwendeten Kamerasystems in einem Halbfreilandversuch untersucht. Hieraus ergibt sich, dass bei einer Brennweite von 16 mm eine Flughöhe von etwa 1,80 m erforderlich wäre, um einen Quadratmeter reelle Fläche abzubilden. Dies ist mit dem zurzeit verwendeten Autopiloten nicht umzusetzen. In einer bisher vom Autopiloten einzuhaltenden Flughöhe von 10 m ist eine Brennweite von 55 mm zu empfehlen.

Dies konnte durch Untersuchungen in einem Halbfreilandversuch und einer festgelegten Höhe bestätigt werden. Hierbei zeigte sich, dass bei einer simulierten Flughöhe von 8,15 m ausreichende Auflösungen ab einer Brennweite von mindestens 55 mm erreicht wurden. Bei einer realen Auflösung von etwa 30 Pixeln pro inch (Abb. 3c) ermöglichte dies eine zuverlässige Berechnung des Pflanzendeckungsgrades und eine eindeutige Unterscheidung von Unkräutern unterschiedlicher Entwicklungsstufen.

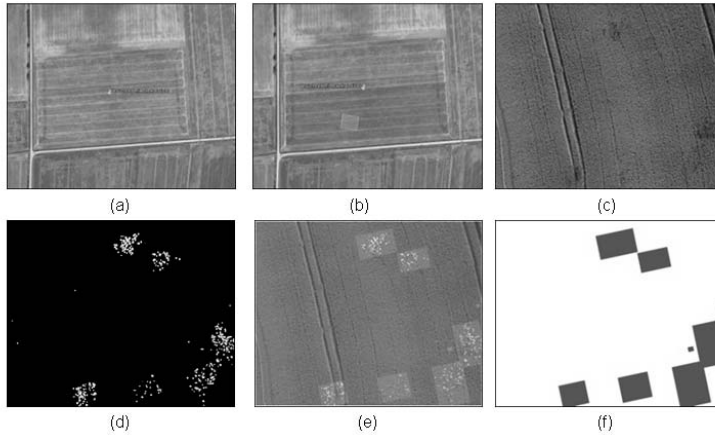


Abb. 2 (a) und (b) Satellitenbilder (google earth, 2013) der Versuchsfläche mit gekennzeichnete Gesamtfläche (rot) und Teilfläche (grün); (c) Georeferenzierte Aufnahmen eines abreifenden Bestandes von Winterweizen mit Distelnestern; (d) Ergebnis der Segmentierung mit Hilfe des Algorithmus von Rasmussen (2007); (e) und (f) manuell markierte Flächen einer möglichen teilflächenspezifischen Herbizidapplikation parallel zur Fahrspur.

Fig. 2 (a) and (b) Satellite images (google earth, 2013) of total sample area (red) and reference surface (green); (c) Georeferenced images of thistle clusters in maturing wheat; (d) Results of color segmentation by using the approach of Rasmussen 2007; (e) and (f) manually labeled area of potentially site-specific herbicide application.

Tab. 2 Zusammenhang zwischen Flughöhe, Bildauflösung und Bestandesfläche bei einer Brennweite von 16 mm.

Tab. 2 Relation between altitude, spatial image resolution and surface area by means of 16 mm focal length.

Flughöhe cm	gemessene Pixel / 5 cm	mm / pixel	pixel/inch	reelle Fläche (m ²)
109,7	156,5	31,3	79,50	0,05
128	134	26,8	68,07	0,17
151	113	22,6	57,40	0,43
171,9	99,5	19,9	50,55	0,89
190	89,5	17,9	45,47	1,64
200,1	84,5	16,9	42,93	2,23
300	56	11,2	28,45	3,14
400	42	8,4	21,34	4,05
500	33,5	6,7	17,02	5,00
600	28	5,6	14,22	5,61
700	23,5	4,7	11,94	12,78
800	21	4,2	10,67	22,72
900	18,5	3,7	9,40	35,72
1000	17	3,4	8,64	51,12
1100	15	3	7,62	72,58

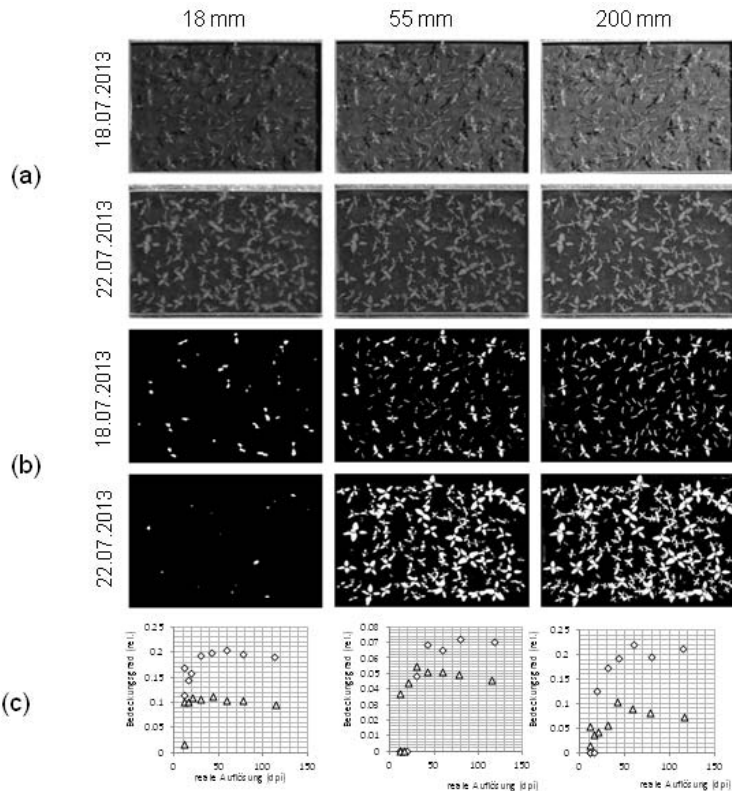


Abb. 3 (a) Aufnahmen von CHEAL fotografiert aus einer Höhe von 8,15 m mit verschiedenen Objektiv-Brennweiten und in unterschiedlichen Entwicklungsstufen der Pflanzen, (b) das Ergebnis der Berechnung des Pflanzendeckungsgrades nach Rasmussen 2007 und (c) der Zusammenhang zwischen Abbildungsleistung und Bedeckungsgrad. Ab einer realen Auflösung von mehr als 30 dpi ist eine zuverlässige Berechnung des Pflanzendeckungsgrades unabhängig von der Entwicklungsstufe der Pflanzen möglich.

Fig. 3 (a) Original images of CHEAL, shot from an altitude of 8.15 m using different focal lengths, (b) Image processing results of CHEAL from a altitude of 8.15 m in comparison of different focal length (Algorithm by RASMUSSEN et al., 2007) and (c) the relation between spatial resolution and leaf cover. A resolution of more than 30 dpi provides reliable calculation of leaf cover, which is than independent from the stage of plant development.

Diskussion

In den Laborversuchen zeigte sich, dass das verwendete Sony-Objektiv mit einer fest eingestellten Brennweite von 16 mm hohe Lichtdurchlässigkeit besitzt. Dadurch kann eine Bewegungsunschärfe vermieden werden, die bei einer photogrammetrische Unkrauterfassung aus geringer Flughöhe häufig auftritt. Bezüglich des Öffnungswinkels bei 16 mm Brennweite und des verwendeten APS-C Sensors der Sony-Kamera geht aus den Versuchen allerdings hervor, dass bereits ab einer Flughöhe von 1,80 m annähernd 1 m² Grundfläche aufgenommen wird. Die Ergebnisse der Halbfreilandversuche deuten darauf hin, dass für die Analyse der Bilder bezüglich des Pflanzendeckungsgrades einen Auflösung von 30 dpi erforderlich ist. Ausgehend von der verwendeten Festbrennweite ist dieser Wert nur bis zu einer Flughöhe von 3 m zu erreichen.

Solch geringe Flughöhen können durch den eingesetzten Autopiloten des Kopter jedoch nicht stabil gehalten werden. Während die GPS-Navigation in x und y-Richtung besser als +- 5 m ist, kann eine Flughöhe (z) unter 5 m nicht automatisch gehalten werden. Aus diesem Grund sollten Objektive mit größerer fester Brennweite (z. B. 60 mm) verwendet werden. Versuche aus fest

eingestellter Höhe von 8,15 m haben gezeigt, dass sich Aufnahmen ab 55 mm mit Hilfe des Algorithmus von RASMUSSEN (2007) gut segmentieren lassen. Größere Brennweiten bringen nur noch geringe Verbesserungen bei der Bildverarbeitung. In den Feldversuchen zeigte sich, dass durch Analyse der georeferenzierten Einzelbilder und ihre farbliche Segmentierung Unkrautnester im Getreidebestand identifiziert werden können. Diese raumbezogenen Informationen sollen bei der Applikation von Herbiziden auf ausgewählten Standorten berücksichtigt werden. Insgesamt deuten die bisherigen Erfahrungen mit dem Kopter auf ein hohes Potential für eine räumlich aufgelöste Unkrauterfassung hin.

Danksagung

Wir danken den Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland am JKI Braunschweig für ihre Hilfe bei der Umsetzung der Versuche. Der Dank gilt insbesondere Frau Annika Behme und Herrn Arno Littmann.

Literatur

- BANNARI, A., D. MORIN, F. BONN und A.R. HUETE, 1995: A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews* **13**, 95-120.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHRSWESEN, 2012: Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO).
- GOMEZ-CANDON, D., F. LOPEZ-GRANADOS, J. J. CABALLERO-NOVELLA, M. GOMEZ-CASERO, M. JURADO-EXPOSITO und L. GARCIA-TORRES, 2011: Geo-referencing remote images for precision agriculture using artificial terrestrial targets. *Precision Agriculture* **12**, 876-891.
- HARDIN, P. J. und R. R. JENSEN, 2011: Introduction-Small-Scale Unmanned Aerial Systems for Environmental Remote Sensing. *Giscience and Remote Sensing* **48**, 1-3.
- HÄUSLER, A. und H. NORDMEYER, 1999: Characterizing spatial and temporal dynamics of weed seedling populations. *Precision agriculture'99*, Part 1. Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 11-15 July 1999, 463-472.
- JOHNSON, L. F., D. F. BOSCH, D. C. WILLIAMS und B. M. LOBITZ, 2001: Remote sensing of vineyard management zones: Implications for wine quality. *Applied Engineering in Agriculture* **17**, 557-560.
- KLUGE, A., 2011: Methoden zur automatischen Unkrautererkennung für die Prozesssteuerung von Herbizidmaßnahmen. Dissertation Technische Universität Braunschweig, S. 214.
- KLUGE, A. und H. NORDMEYER, 2012: Verfahren der Bildanalyse zur Unkrautererkennung in Getreide. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 235-242.
- LALIBERTE, A. S., M. A. GOFORTH, C. M. STEELE und A. RANGO, 2011: Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments. *Remote Sensing* **3**, 2529-2551.
- LEBOURGEOIS, V., A. BEGUE, S. LABBE, M. HOULES und J. F. MARTINE, 2012: A light-weight multi-spectral aerial imaging system for nitrogen crop monitoring. *Precision Agriculture* **13**, 525-541.
- LELONG, C. C. D., P. BURGER, G. JUBELIN, B. ROUX, S. LABBE und F. BARET, 2008: Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors* **8**, 3557-3585.
- LOPEZ-GRANADOS, F., 2011: Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Research* **51**, 1-11.
- NIEMEYER, F., R. SCHIMA und A. NEISER, 2013: Konzept und Kalibrierung eines Mehrkameranensystems mit schrägblickenden Kameras für den UAV-Einsatz. 19. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft und 2. Workshop Unbemannte Autonom fliegende Systeme (UAS) in der Landwirtschaft, Berlin.
- NORDMEYER, H., 2006: Patchy weed distribution and site-specific weed control in winter cereals. *Precision Agriculture* **7**, 219-231.
- OEBEL, H., 2006: Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- und (Online-) Verfahren (TURBO). Dissertation Universität Hohenheim.
- PEÑA-BARRAGAN, J. M., M. KELLY, A. I. DE CASTRO und F. LOPEZ-GRANADOS, 2012: Object-based approach for row characterization in UAV images for site-specific weed management. *Proceedings of the 4th GEOBIA, Rio de Janeiro, Brazil*, 426-430.
- RASMUSSEN, J., J. NIELSEN, F. GARCIA-RUIZ, S. CHRISTENSEN und J. C. STREIBIG, 2013: Potential uses of small unmanned aircraft systems (UAS) in weed research. *Weed Research* **53**, 242-248.
- RASMUSSEN, J., M. NORREMARK und B. M. BIBBY, 2007: Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images. *Weed Research* **47**, 299-310.
- ROUSE, J. W., R. H. HAAS, J. A. SCHELL, D. W. DEERING und J. C. HARLAN, 1974: Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. NASA/Goddard Space Flight Center Final Report.
- SCHMALE, D. G., B. R. DINGUS und C. REINHOLTZ, 2008: Development and application of an autonomous unmanned aerial vehicle for precise aerobiological sampling above agricultural fields. *Journal of Field Robotics* **25**, 133-147.
- SIMS, D. A. und J. A. GAMON, 2003: Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. *Remote Sensing of Environment* **84**, 526-537.

26th German Conference on weed Biology an Weed Control, March 11-13, 2014, Braunschweig, Germany

XIANG, H. T. und L. TIAN, 2011: Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering* **108**, 174-190.

Teilflächenspezifisches Herbizidsplitting in Feldmöhren entsprechend sensor-basierter Erfassung der Verunkrautung

Site-specific herbicide splitting in field carrots based on camera detected weed infestation

Karl-Heinz Dammer^{1*}, Gerhard Wartenberg¹ und Frank Weinhold²

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, Deutschland

² Klossaer Strasse 24, 06917 Jessen

*Korrespondierender Autor, kdammer@atb-potsdam.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.051

Zusammenfassung

Die Bereitstellung von Speisemöhren für den deutschen Markt erfolgt zu einem nicht unerheblichen Anteil aus der Inlandsproduktion im Freiland. Um eine optimale Herbizidwirkung bei minimaler Schädigung der Möhrenpflanze zu erzielen, hat sich ein bis zu dreimaliges Splitting der empfohlenen Höchstmenge bewährt. Da in den spezialisierten Betrieben teilweise hohe Flächenkonzentrationen erreicht werden, besteht bei einer der Unkrautdichte angepassten Herbizidapplikation ein hohes Potenzial zur Reduzierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln.

In Streifenversuchen sollte die Wirkung eines teilflächenspezifischen Herbizidsplittings auf die Späterunkrautung sowie auf verschiedene Ertragsparameter getestet werden. Art und Anzahl der Unkräuter wurden im Frühjahr mittels manueller Bonituren entlang eines Stichprobengitters erfasst. Danach erfolgte im 3-Blattstadium der Möhren mit einem am Leibniz-Institut für Agrartechnik (ATB) entwickelten Kamerasensor die kleinräumige Detektion der auf dem Feld vorhandenen Verunkrautung. Die Sensorwerte waren die Grundlage für das Erstellen von Unkrautverteilungskarten. Anhand dieser Verteilungskarten wurden in dem der Unkrautverteilung angepassten Applikationsstreifen drei Zonen mit Aufwandmengen von 200 L ha⁻¹, 300 L ha⁻¹, und 400 L ha⁻¹ gebildet. In den beidseitig benachbarten Streifen erfolgte ein flächeneinheitliches Splitting mit der betriebsüblichen Menge von 400 L ha⁻¹. Die drei Applikationszonen wurden während des Splittings bei der zweiten bzw. dritten Herbizidanwendung beibehalten. An jedem der zwei bzw. drei Spritzzeitpunkte konnten durch das teilflächenspezifische Splitting 16 % (2005) und 20 % (2006) des Pflanzenschutzmittels gegenüber einem flächeneinheitlichen Splitting eingespart werden.

Zur Beurteilung der Ertragswirksamkeit wurden in den 2 Applikationsvarianten an jeweils gegenüberliegenden Stichprobenpunkten die Möhren von Hand geerntet und die Ertragsparameter Gewicht sowie Anzahl „gesamt“ bzw. „vermarktungsfähig“ bestimmt. Mit Hilfe der Differenzenmethode (lokale Ertragsparameterwerte teilflächenspezifisch minus einheitlich) erfolgte der statistische Vergleich abhängiger Stichproben mit dem t-Test. Unterstellt man eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ wurden in 19 der insgesamt 24 Tests keine statistisch gesicherten Unterschiede der Ertragsparameter zwischen den zwei Behandlungsvarianten in den jeweiligen Applikationszonen gefunden. Die Nachverunkrautung war in beiden Varianten sehr gering und damit vernachlässigbar.

Stichwörter: Applikationskarte, Kamera, Möhren, Präzise Unkrautkontrolle, Sensor

Abstract

The production of carrots for the German market comes mainly from domestic production. To ensure the efficiency of chemical weed control and to minimize the damage of the crop a splitting of the recommended dosage up to three times is often practiced. Because of large field areas of the carrot cropping and processing enterprises, the potential to save herbicides by practicing an herbicide application adapted to the weed occurrence is high.

The efficiency of a site-specific herbicide splitting on the late weed occurrence as well as on yield parameters was tested in field strip trials. Weed species and abundance were determined manually by raster sampling using a counting frame in spring before spraying. Afterwards in the three leaf growth stages of the carrots the weed coverage level was detected online using a camera sensor developed by the Leibniz Institute for Agricultural Engineering (ATB). Based on weed coverage level maps three application zones (200 L ha⁻¹, 300 L ha⁻¹, 400 L ha⁻¹) were defined. On both sides of the site specific splitting strip a uniform splitting strip (400 L ha⁻¹) was applied. The position of the application zones were the same during site-specific splitting at the second and third herbicide spraying respectively. Compared to a conventional uniform splitting herbicide savings were 16% (2005) und 20% (2006) at each spraying time.

To evaluate the efficacy of the site-specific splitting on the yield manually harvesting were performed at opposite points in both treatments. The yield parameters fresh weight and numbers of carrots "total" and "marketable" were determined. Assuming a significance level of $\alpha = 5\%$ the difference method for controlled treatment comparison in large scale field trials (t-test) resulted in 19 of the 24 tests in total no differences between the treatments. The late weed occurrence in both treatments was low.

Keywords: Application map, camera, carrots, precise weed control, sensor

Einleitung

Feldmöhren haben eine langsame Jugendentwicklung. Von der Aussaat über das Auflaufen bis hin zum für eine Herbizidanwendung wichtigen 3-Blattstadium kann je nach der Witterung im Frühjahr ein Zeitraum von 4 bis 6 Wochen vergehen. Die Unkräuter laufen in diesem Zeitraum in verschiedenen Wellen auf. Das Wachstum der Unkräuter im Frühjahr ist im Vergleich zu den Möhren schneller. Die Folge ist, dass die Altersstruktur des Unkrautes im Möhrenfeld heterogen ist (DAMMER *et al.*, 2008) und dadurch ein hohes Konkurrenzpotenzial um Wasser und Nährstoffe gegenüber der Kulturpflanze besteht. Eine Unkrautkontrolle ist daher unablässig. In der Regel werden Nachauflaufferbizide erst ab dem 3-Blattstadium der Möhrenpflanzen eingesetzt. Die jungen Möhrenpflanzen sind bis zum Reihenschluss sehr empfindlich gegenüber Herbiziden. Daher wird in der Praxis ein Splitting der empfohlenen Höchstmenge in 2 bis 3 Spritzungen durchgeführt. Darüber hinaus müssen auch aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen weitere verfahrenstechnische Entwicklungen zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes betrieben werden, um dem Pflanzenschutzmittel-Reduktionsprogramm zu entsprechen (ZWERGER *et al.*, 2004; NORDMEYER, 2006).

Durch den Sonderkulturstatus und die Lückenindikation bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln sind im Möhrenanbau nur wenige Herbizide zugelassen. Beispielsweise musste in Deutschland in den letzten Jahren für das den Wirkstoff Linuron enthaltende Herbizid Afalon 450 SC jährlich eine Sondergenehmigung durch die zuständige Zulassungsbehörde erteilt werden. Durch ein der Verunkrautung angepasstes teilflächenspezifisches Herbizidsplitting könnte die Situation dahingehend entspannt werden, dass sich durch eine Mitteleinsparung die nachteilige Umweltwirkung reduzieren lässt. Ein weiterer Effekt ist der ökonomische Vorteil für den Betrieb, indem Betriebskosten eingespart werden können

Die vorgestellten Feldversuche haben das Ziel zu untersuchen, ob sich die zugelassene Herbizidaufwandmenge durch ein teilflächenspezifisches Splitting, verglichen zu einem betriebsüblichen einheitlichen Splitting, ohne Ertrags- und Wirkungsverluste reduzieren lässt. Darüber hinaus war zu klären, inwieweit im absätzigen (offline) Verfahren erstellte Unkrautverteilungskarten für alle Herbizidanwendungen während des Splittingzeitraumes nutzbar sind. Untersuchungen verschiedener Autoren (z. B. DICKE *et al.*, 2004; OEBEL und GERHARDS, 2006) ergaben, dass Unkrautverteilungskarten basierend auf Sensordaten hinreichend genaue Aussagen für teilflächenspezifische Spritzentscheidungen im selben Jahr zulassen. Die Verwendung historischer Unkrautkarten für eine teilflächenspezifische Herbizidapplikation über mehrere Jahre wird jedoch als problematisch angesehen. Die sensorgestützte Erfassung der Verunkrautung sowie manuelle Bonituren ergaben, dass die Artenzusammensetzung sowie die Abundanz und die Dispersion auf ein und demselben Feld bei gleicher Kultur unterschiedlich sein kann (WARTENBERG, 1996; DAMMER *et al.*, 2006). Als Ursache kommen unterschiedliche Wetterbedingungen (Temperatur, Niederschlag) vor allem in der Keimphase der Unkräuter (LAUER, 1953) in Frage.

Material und Methoden

Großflächige Streifenversuche wurden in Möhrenfeldern der Jessener Frischgemüse Verarbeitungs GmbH am ehemaligen Standort Holzdorf durchgeführt. Die Flächen sind im Nordosten von Deutschland etwa 100 km südlich von Berlin gelegen. Die geografischen Koordinaten im WGS 84-Format der 2 Felder sind wie folgt:

- 2005: 51.79 Lat, 13.15 Long,
- 2006: 51.79 Lat, 13.09 Long.

Der Standort ist ein grundwasserbeeinflusster humoser Sand mit einer jährlichen durchschnittlichen Niederschlagsmenge von etwa 400 bis 600 mm. Bei längerer Trockenheit werden in dieser Anbauregion daher Feldmöhren mit Hilfe von Kreisberegnungsanlagen bewässert.

Die Aussaat der Möhren erfolgte im Frühjahr in 2 m breiten Beeten mit 4 Reihen pro Beet. Für die Versuche wurden im jeweiligen Feld durch Begehung die Bereiche mit einem heterogenen Unkrautauftreten festgelegt. Entlang eines Stichprobengitters erfolgte die Bonitur nach Unkrautart und Anzahl mit Hilfe eines quadratischen Zählrahmens (0,25 m²) in der Mitte des Möhrenbeetes. Die kleinräumige Unkrautverteilung wurde mit einem Kamerasensor zum 3-Blattstadium der Möhren 5 Tage (2005) und 3 Tage (2006) vor der Herbizidapplikation erfasst. Die Detektionsspur des Sensors lag zwischen den Aussaatreihen in der Mitte jedes Möhrenbeetes der Versuchsfläche.

Der Kamerasensor wurde neben der sensorgesteuerten Herbizidapplikation (DAMMER *et al.*, 2012) unter anderem auch zur Detektion von *Fusarium* ssp. in Winterweizen (DAMMER *et al.*, 2011) eingesetzt. Sein Aufbau und die Wirkungsweise kann wie folgt zusammengefasst werden und ist im Detail bei WARTENBERG *et al.* (2005) und DAMMER *et al.* (2011) beschrieben:

- Drei-Chip-CCD Kamera MS 2100 (DunCanTech, San Diego),
- Bildverarbeitungssoftware zur Unkrautdetektion (Symacon GmbH, Barleben): Berechnung $NDVI = (R_{800\text{ nm}} - R_{670\text{ nm}}) / (R_{800\text{ nm}} + R_{670\text{ nm}})$, Binarisierung in Boden und Pflanze durch vorher in einem Kalibrierungsschritt ermittelten Schwellenwert, Ausgabe des Unkrautdeckungsgrades in % (Mittelwert aus 25 Bildern je 5 m gefahrene Strecke, entspricht einer Detektionsfläche von 0,75 m²),
- Betrieb des Sensors in einer Höhe von 40 cm am Traktor-Frontdreipunkt,
- Aufzeichnung des Deckungsgrades und GPS-Signals (AgGPS, System EGNOS).

Die aufgezeichneten Daten wurden zur Visualisierung in ArcView (ESRI, Redlands) übernommen und anhand der erstellten Karten des Unkrautdeckungsgrades wurden 3 Applikationszonen mit 50 %, 75 % und 100 % der praxisüblichen Applikationsmenge festgelegt. Die Herbizidapplikation erfolgte durch die betriebseigene Feldspritze (Dual-Air-System, Fassungsvermögen: 4000 l, Gestängebreite: 24 m, Dammann, Buxtehude, Germany) der Jessener Frischgemüse Verarbeitungs GmbH. Das Versuchsdesign der Streifenversuche war so aufgebaut, dass sich an beiden Seiten eines teilflächenspezifisch gespritzten Streifens jeweils ein betriebsüblich einheitlich gespritzter Streifen befand. Eine Behandlungsvariante umfasste insgesamt 12 Möhrenbeete (12 x 2 m = 24 m).

Vor der Möhrenernte erfolgte eine manuelle Erfassung der Nachverunkrautung an den Orten der vorhandenen Stichprobenpunkte. Für den Ertragsvergleich einheitlicher gegenüber teilflächenspezifischer Applikation wurden jeweils gegenüberliegende Stichprobenpunkte in beiden Behandlungsvarianten unter Ausschluss des jeweiligen Randbeetes (Minimierung von Randeffekten) festgelegt. Mit einem Spaten wurden die Möhren einer der mittleren Beetreihen auf einer Länge von 1 m von Hand geerntet. Danach wurden die Möhren entkrautet, von anhaftenden Erdresten befreit, gewogen und gezählt. Die vermarktungsfähigen Möhren in der Gewichtsklasse 50 g-150 g wurden anschließend selektiert. Der statistische Vergleich zwischen den zwei Behandlungsvarianten erfolgte anhand der Ertragsparameter: Gesamtgewicht, Gewicht der Marktware, Gesamtanzahl und Anzahl Marktware. Im Jahr 2005 wurde an insgesamt 96 Stichprobenpunkten und 2006 an insgesamt 130 Stichprobenpunkten geerntet. Die Lage der Erntepunkte ist in Abbildung 1 im Ergebnisteil dargestellt. In Tabelle 1 sind die Angaben zu der kamerabasierten Unkrautdetektion, der manuellen Bonitur, der Herbizidapplikation und der Ernte in den Streifenversuchen zusammengefasst.

Tab. 1 Termine der kamerabasierten Unkrautdetektion, manuelle Bonitur, Herbizidapplikation und Ernte in den Streifenversuchen.

Tab. 1 *Dates of camera detection, manual weed estimation, herbicide application and harvesting in field strip experiments.*

Jahr	Termin Kame-raeinsatz	Termin Herbi-zidapplikation	Manuelle Spritzung/vor Ernte	Unkrautbonitur vor Ernte		Ernte Möhren		
				Raster-größe [m]	Stichproben-anzahl	Termin	Stichpro-benanzahl	Termin
2005	25.05.	30.05. ¹	25 x 18	90	24.05./	96	11./12.08.	
		08.06. ²						01.08.
		22.06. ³						
2006	23.06.	26.06. ⁴	45 x 5	122	19.06./	130	11./12.09.	
		19.07. ⁵						25.08.

¹ 0,3 L ha⁻¹ Afalon 450 SC (Linuron); ² 0,8 L ha⁻¹ Afalon 450 SC (Linuron); ³ 0,9 L ha⁻¹ Afalon 450 SC (Linuron); ⁴ 0,5 L Afalon 450 SC (Linuron); ⁵ 1,0 L Afalon 450 SC (Linuron) + 100 g Sencor (Metribuzin), Wasseraufwandmenge bei allen 5 Spritzungen: 400 L ha⁻¹

Als statistischer Test (t-Test) auf die Unterschiede zwischen den 2 Behandlungsvarianten hinsichtlich der 4 Ertragsparameter wurde die Differenzenmethode für den Vergleich abhängiger Stichproben in Großversuchen (ANONYM, 1972) angewendet. Zunächst erfolgte eine Differenzbildung räumlich gegenüberliegender Werte (teilflächenspezifisch – einheitlich) mit dem Mittelwert und der Standardabweichung. Die mittleren Differenzen wurden gegen Null mit dem t-Test statistisch verglichen (SAS Analyst Application Version 9, two sample paired dependent t-test). Falls der t-Test zur Annahme der H₀ führte (mittlere Differenz = 0), hatte die teilflächenspezifische Herbizidapplikation keinen Einfluss auf die 4 Ertragsparameter.

Ergebnisse und Diskussion

Unkrautflora und kameradetektierter Deckungsgrad

In allen 2 Jahren erreichten an den Stichprobenpunkten nur einige Leitunkräuter höhere Abundanzen. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der manuellen Bonitur zusammengefasst. Es sind nur die Arten aufgeführt, welche Abundanzen > 10 % an der Gesamtanzahl erreichten.

Die Darstellung der Sensorwerte (Unkrautdeckungsgrad) in Box Whisker Plots (ohne Abbildung) ergab eine linksschiefe Verteilung, d.h. an nur wenigen Stichprobenpunkten erreichte der Unkrautdeckungsgrad höhere Werte. Im Jahr 2005 war im Mittel das Niveau der Verunkrautung höher als 2006:

- 2005: 25 %-Quartil: 7 %, 75 %-Quartil: 32 %;
- 2006: 25 %-Quartil: 1 %, 75 %-Quartil: 10 %.

In Abbildung 1 sind die Verteilung des kameraerfassten Deckungsgrades in den Spritzvarianten sowie die Position der Erntepunkte dargestellt. Basierend auf der langjährigen Erfahrung des Betriebes in der Unkrautbekämpfung auf den jeweiligen Feldern wurde der teilflächenspezifisch zu behandelnde Versuchsstreifen in 3 Applikationszonen (200 L ha⁻¹, 300 L ha⁻¹ und 400 L ha⁻¹) eingeteilt. Entlang der etwa 600 m langen Versuchsanlage wurde 2005 in der teilflächenspezifischen Variante insgesamt 6-mal die Aufwandmenge gewechselt. Im Jahr 2006 erfolgte entsprechend der Unkrautverteilung auf dem Möhrenfeld die Anlage des Versuches auf der Nord- und Südseite des Feldes mit einem 8 maligem Wechsel. Verglichen mit der Südseite war der Unkrautdeckungsgrad der Nordseite höher.

Tab. 2 Relative Häufigkeiten und mittlere Individuendichte der vorkommenden Unkrautarten (> 10 % an der Gesamtanzahl) vor der Herbizidspritzung.

Tab. 2 *Relative frequency and mean density by species (main weed species > 10 % relative frequency) before spraying.*

Jahr	Art	relative [%]	Häufigkeit	Mittlere Abundanz [m ⁻²]
2005	Weißer Gänsefuß <i>Chenopodium album</i> L.	38,0		178,1
	Acker-Stiefmütterchen <i>Viola arvensis</i> Murr.	36,1		169,3
2006	Acker-Stiefmütterchen <i>Viola arvensis</i> Murr.	42,9		30,4
	Gemeine Hühnerhirse <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Pal. Beauv.	16,9		12,0
	Weißer Gänsefuß <i>Chenopodium album</i> L.	11,5		8,1
	Gemeines Hirtentäschel <i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	9,7		6,9

Herbizideinsparungen und Ertragsvergleich

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Längen der Applikationszonen an der Gesamtlänge der Versuchsanlage (2005: 600 m; 2006: 1390 m) ergab sich als Einsparung der Spritzbrühe je Applikation ein gewogenes arithmetisches Mittel von 16 % (2005) und 20 % (2006) verglichen mit einer konventionellen flächeneinheitlichen Spritzung der empfohlenen Höchstmenge von 2,0 L ha⁻¹ Afalon 450 SC (2005) bzw. an die Verunkrautung angepasste Menge von 1,5 L ha⁻¹ Afalon 450 SC + 100 g Sencor (2006) in jeweils 400 L ha⁻¹ Wasser.

Bei den insgesamt 24 Tests auf signifikante Unterschiede der lokalen Ertragsparameterdifferenzen gegenüber Null führten nur 5 Tests zur Ablehnung der H₀ (Unterschiede in den Ertragsparametern), wenn man eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ annimmt (Tab. 3). Keine der beiden Varianten war hinsichtlich dieser 5 Testergebnisse dabei im Vorteil. Die Parameter der teilflächenspezifischen Variante wies 3-mal höhere und 2-mal niedrigere Werte auf.

Die Bonitur der Nachverunkrautung in der Mitte der Möhrenbeete ergab nur an wenigen Stichprobenpunkten 1 bis 2 Individuen. Spät aufgelaufenes Unkraut befand sich hauptsächlich zwischen den Möhrenbeeten in den Fahrgassen. In allen 2 Versuchsjahren waren keine Unterschiede hinsichtlich der Nachverunkrautung zwischen den Behandlungsvarianten zu beobachten.

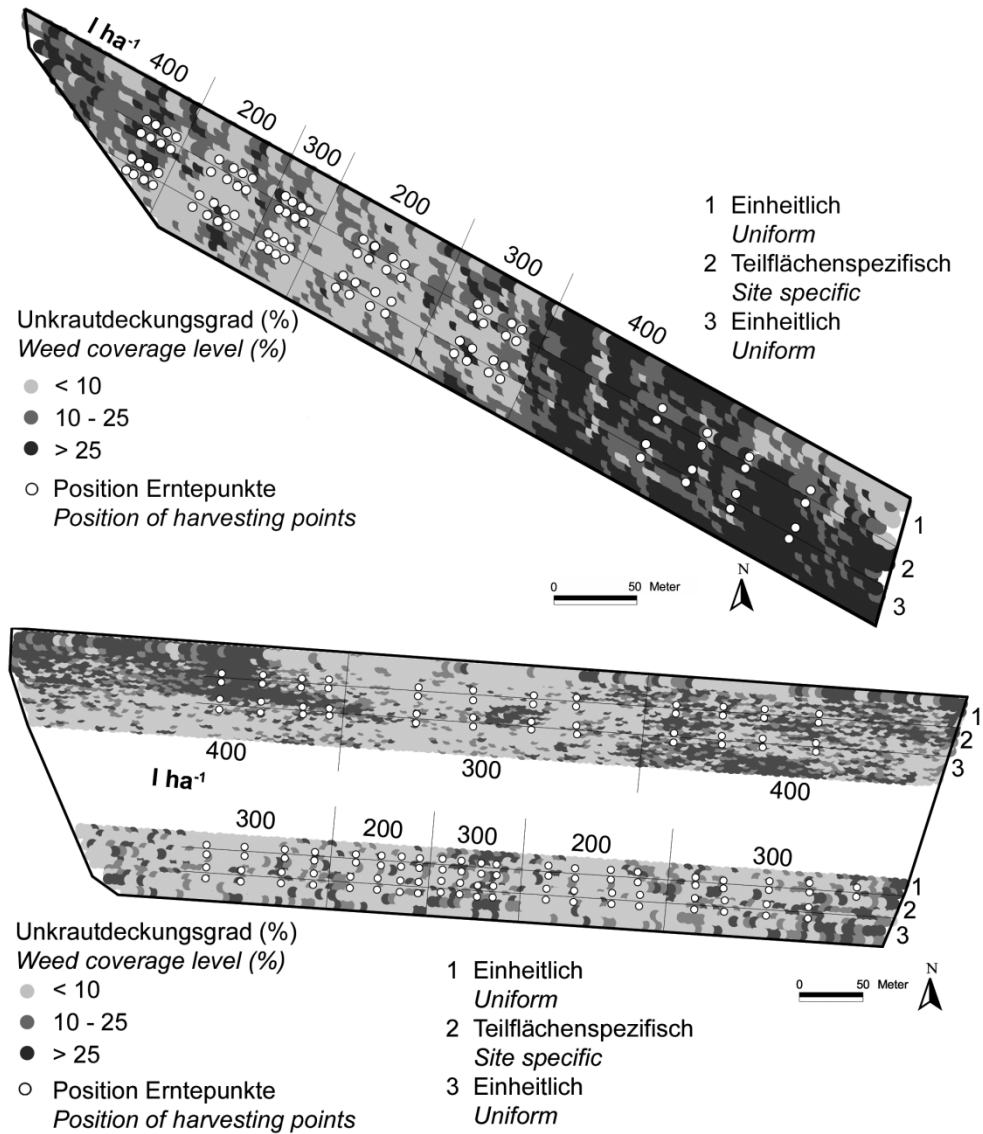


Abb. 1 Verteilung des kamerabasierten Deckungsgrades (oben) am 25.05.2005 und (unten) 23.06.2006 sowie die Position der Erntepunkte in den Streifenversuchen auf dem jeweiligen Möhrenfeld.

Fig. 1 Camera detected weed coverage level on (top) 25.05.2005 and (bottom) 23.06.2006, application zones and position of the harvesting points of the field strip trials.

Tab. 3 Mittelwert, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert für die Annahme der H_0 -Hypothese der lokalen Differenzen der Ertragsparameter (teilflächenspezifisch – einheitlich) in den Streifenversuchen 2005 und 2006.

Tab. 3 Mean, standard deviation, t-value, and p-value of the acceptance of H_0 -hypothesis of the local yield differences (site specific – uniform) in the strip trials 2005 and 2006.

Jahr/Ertragsparameter	Applikationsmenge [l ha ⁻¹]	Mittlere lokale Differenz	Standardabweichung	t-Wert	p-Wert H_0
2005/ Gesamtgewicht	200	0,08	0,57	0,54	0,60
	300	-0,07	0,46	-0,61	0,55
	400	-0,02	0,65	-0,12	0,91
2005/ Gesamtanzahl	200	-2,63	1,28	-0,93	0,37
	300	-2,06	7,78	-1,06	0,31
	400	-5,63	13,71	-1,64	0,12
2005/ Gewicht Marktware	200	0,26	0,43	2,44	0,03
	300	0,10	0,78	0,50	0,63
	400	0,05	0,88	0,22	0,83
2005/ Anzahl Marktware	200	1,75	5,34	1,31	0,21
	300	3,00	9,05	1,33	0,20
	400	-0,13	11,79	-0,04	0,97
2006/ Gesamtgewicht	200	-0,35	0,56	-2,45	0,03
	300	0,16	0,67	1,36	0,18
	400	-0,16	0,56	-1,16	0,26
2006/ Gesamtanzahl	200	4,75	15,91	1,195	0,25
	300	10,03	14,57	3,96	0,00
	400	1,94	10,83	0,72	0,49
2006/ Gewicht Marktware	200	-0,44	0,58	-2,99	0,01
	300	0,01	0,73	0,11	0,91
	400	-0,32	0,74	-1,70	0,11
2006/ Anzahl Marktware	200	-0,50	7,81	-0,26	0,80
	300	4,91	11,82	2,39	0,02
	400	-2,25	8,68	-1,04	0,32

Danksagung

Die Autoren danken den Mitarbeitern der Jessener Frischgemüse Verarbeitungs GmbH und der Abteilung Technik im Pflanzenbau des ATB für die Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der Feldversuche.

Literatur

- ANONYM, 1972. Biometrische Versuchsplanung, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 352 S.
- DAMMER, K.-H., G. WARTENBERG und A. GIEBEL, 2006: Abundanz- und Dispersionsdynamik von Unkräutern bei sensorgestützter Herbizidapplikation am Beispiel eines Sommergerstenschlages. J. Plant Dis. Prot. Special Issue **XX**, 197-204.
- DAMMER, K.-H., G. WARTENBERG und F. WEINHOLD, 2008: Aufwandmengendifferenzierung bei sensorgestützter Herbizidapplikation in Unkrautpopulationen mit heterogener Altersstruktur. J. Plant Dis. Prot. Special Issue **XXI**, 161-166.
- DAMMER, K.-H., B. MÖLLER, B. RODEMANN und D. HEPPNER, 2011: Detection of head blight (*Fusarium* spp.) in winter wheat by color and multispectral image analyses. Crop Prot. **30** (4), 420-428.

- DAMMER, K.-H., H. BÖTTGER, G. WARTENBERG und ROSENAU, 2012: Echtzeitregelung der Applikationsmenge bei der Herbizidanwendung mit Hilfe eines Kamerasensors. *Julius-Kühn-Archiv* **434** (1), 191-198.
- DICKE, D., A. FRIES und R. GERHARDS, 2004: Ermittlung von Schadschwellen für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung im Braugerstenbau. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue* **XIX**, 413-421.
- LAUER, E., 1953: Über die Keimtemperatur von Ackerunkräutern und deren Einfluss auf die Zusammensetzung von Unkrautgesellschaften. *Flora oder allgemeine Botanische Zeitung* **140**, 551-595.
- NORDMEYER, H., 2006: Teilflächenunkrautbekämpfung um Rahmen des Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue* **XX**, 165-172.
- OEBEL, H. und R. GERHARDS, 2006: Kameragesteuerte Unkrautbekämpfung – eine Verfahrenstechnik für die Praxis. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue* **XX**, 181-187.
- WARTENBERG, G., 1996: Teilflächenspezifischer Herbizideinsatz. *Landtechnik* **4**, 196-197.
- WARTENBERG, G., H.-R. LANGNER, H. BÖTTGER und H. SCHMIDT, 2005: Messsystem zur Bewertung des Unkrautvorkommens. *Bornimer Agrartechnische Berichte* **44**, 158 S.
- ZWERGER, P., H.-P. MALKOMES, H. NORDMEYER, H.-P. SÖCHTING und A. VERSCHWELE, 2004: Unkrautbekämpfung. Gegenwart und Zukunft – aus deutscher Sicht. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue* **XIX**, 27-38.

DSSHerbicide: Feldversuche zur Unkrautbekämpfung im Winterweizen – Wege zur Entscheidung

DSSHerbicide: Herbicide field trials in winter wheat. How to come to a decision

David Sefzat*, Friederike de Mol und Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Abteilung Phytomedizin,
Satower Straße 48, 18059 Rostock, Deutschland

*Korrespondierender Autor, david.sefzat@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.052

Zusammenfassung

Entscheidungshilfesysteme für die Herbizidauswahl können wirksame, ökonomisch optimierte Herbizidmischungen mit reduzierten Aufwandmengen errechnen, wenn Daten zur schlagspezifischen Verunkrautung eingegeben werden. Damit sind sie ein sinnvolles Hilfsmittel für die Integrierte Unkrautbekämpfung. Bevor sie in der Praxis empfohlen werden können, müssen ihre Empfehlungen geprüft werden. In Mecklenburg-Vorpommern wurden auf Winterweizenschlägen zwei Herbizidfeldversuche angelegt, in denen vier verschiedene Prototypen von Entscheidungshilfesystemen als Prüfglieder getestet wurden. Drei weitere Prüfglieder waren Expertenempfehlungen von privaten Beratern, amtlichem Warndienst und Landwirten sowie eine unbehandelte Kontrollvariante. Herbizidwirkungen im Herbst, Unkrauttrockenmasse nach Abschluss der Bekämpfungsmaßnahmen im Frühjahr, Herbizidkosten und Weizenerträge wurden zur Bewertung der Empfehlungen der Entscheidungshilfesysteme erfasst. In dem ersten Feldversuch mit geringer Unkrautdichte vor der Bekämpfung lag die Wirkung bei mindestens 85 %. Wirkungsgrade waren in zwei Prototypen geringer als in den Expertenvarianten. Es wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Restverunkrautung in den verschiedenen Entscheidungsvarianten gefunden. Die Herbizidkosten waren auf diesem Standort in den Expertenvarianten höher als in den Varianten der Entscheidungshilfesysteme. Für die Weizenerträge konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten, selbst im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, gefunden werden. Auf dem zweiten Feldversuch mit höherer Unkrautdichte lagen die Wirkungsgrade in allen Entscheidungsvarianten niedriger. Für *Poa annua* und *Matricaria recutita* wurden signifikante Unterschiede in der Wirkung zwischen den Entscheidungsvarianten gefunden. Diese Unterschiede wirkten sich nicht in signifikant unterschiedlichen Restverunkrautungen und Erträgen zwischen den behandelten Varianten aus. Drei der Prototypen hatten sehr niedrige Herbizidkosten bei der Herbstapplikation, aber sehr hohe bei der folgenden Frühjahrsbekämpfung. So waren die Herbizidkosten insgesamt höher als bei den Expertenvarianten. Aus den Versuchen kann das Fazit gezogen werden, dass mehrere Prototypen von Entscheidungshilfesystemen sinnvolle Bekämpfungsempfehlungen geben. Auf unkrautarmen Schlägen wurde ein deutliches Einsparpotential an Herbizidkosten offensichtlich.

Stichwörter: Crop Protection Online, Entscheidungshilfesystem, Herbizid, Unkrautbekämpfung

Abstract

Herbicide decision support systems can calculate efficient, economically optimized herbicide mixtures with reduced dosages, if field specific weed data are given. Thus, they can be a sensible tool for integrated weed control. However, advises of decision support systems have to be tested before introducing them into practical farming. In Mecklenburg-Vorpommern two herbicide field trials were installed with four different prototypes of decision support systems. An untreated plot and three expert advices, private advisors, official advisory service and a farmer decision, were included as additional test variables. Herbicide efficacies in autumn, weed dry matter after spring applications, herbicide costs and wheat yield were measured to evaluate the decision support system prototypes. In one field trial with low weed density before treatments efficacies were at least 85%. In two prototypes efficacies were lower than in the expert plots. No significant differences between decision variables were found regarding weed dry matter after spraying in spring. On this site, herbicide costs were higher when expert advices were used compared to decision support system advices. No significant differences were detected in yield. Even yield in "untreated" was not significantly different. The second field trial carried higher weed densities. Here herbicide efficacies were lower in all treatments. *Poa annua* and *Matricaria recutita* were significantly affected by the treatments resulting from the decision tools. However, these differences did not result in statistically different weed dry matter or wheat yield. Three of the prototypes advised solutions with very low herbicide costs in autumn, but high costs in spring. As a result, total weed costs in these plots were higher than in the plots advised by experts. It is concluded from the field trials, that

different prototypes of decision support systems are giving sensible herbicide advice. In fields with low weed density, reduction of herbicides costs seems possible.

Keywords: Crop Protection Online, decision support system, herbicide, weed control

Einleitung

Der Einsatz von Herbiziden beeinflusst die Wirtschaftlichkeit der Pflanzenproduktion und kann die Umwelt mit Pflanzenschutzmitteln belasten. Der Integrierte Pflanzenschutz, wie er von der EU in der EU-Richtlinie 2009/128/EG (2009) und vom deutschen Gesetzgeber im Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (2012) gefordert ist, zielt darauf ab, dass nur Pflanzenschutzmaßnahmen ergriffen werden, die notwendig sind, um einen optimalen – nicht maximalen – Bekämpfungserfolg zu gewährleisten. Für die Ausrichtung auf das notwendige Maß im chemischen Pflanzenschutz (BÜRGER *et al.*, 2008) ist eine gute Beratung sinnvoll. Bei der Unkrautbekämpfung ist es aufgrund der Vielfalt möglicher Unkrautsituationen oft schwierig, eine Herbizidentscheidung in Mittel und Aufwandmenge zu optimieren. Hinzu kommt, dass auf jede Situation mit einer Vielzahl zugelassener Herbizide mit unterschiedlichem Wirkungsprofil reagiert werden kann.

Landwirte nutzen neben ihrer Erfahrung aus Vorjahren unterschiedliche Quellen für Informationen über Herbizidanwendungen. Verbreitet sind die Beachtung regionaler Warndiensthinweise des Pflanzenschutzamtes und/oder die Konsultation privater Berater. JØRGENSEN *et al.* (2007) konnten auf Grundlage von Interviews Landwirte in drei unterschiedliche Typen von Entscheidungsfindern einordnen. Landwirte, die Herbizidentscheidungen Externen übertrugen, bildeten die erste Gruppe. Einer weiteren Gruppe ließen sich Landwirte zuordnen, die sich bei ihrer Entscheidung hauptsächlich auf ihre Erfahrung aus den Vorjahren stützten, während die aktuelle Verunkrautung eine geringere Rolle spielte. Als dritte Gruppe gab es die System-orientierten Landwirte, bei denen kurzfristige Herbizidentscheidungen von langfristigen Strategien zur Anbauentwicklung bestimmt waren. Landwirte dieses Typs überwachten die Unkrautentwicklung auf ihren Feldern genau.

Entscheidungshilfesysteme können sich in den zu optimierenden Zielgrößen unterscheiden. Meist sind die Zielgrößen in Herbizid-Entscheidungshilfesystemen ökonomischer Art. Auf dem dänischen Markt ist das System Crop Protection Online (CPO) eingeführt (RYDAHL, 2003). Crop Protection Online verfolgt das Ziel der Herbizidkostenreduktion bei konstantem Ertrag. Grundlage der Algorithmen sind Herbizidpreise und über einen weiten Aufwandmengenbereich ermittelte Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu allen Unkrautarten, zu denen das System berät. Zielwirkungsgrade sind von dänischen Experten für jede Unkrautart in verschiedenen Unkrautdichteklassen definiert. Es wird die Herbizidmischung gesucht, die mit den geringsten Kosten die Zielwirkungen für alle auf dem Schlag vorkommenden Arten ermittelt. Die Wirkung von Tankmischungen wird unter Nutzung des Additive Dose Model errechnet (STREIBIG *et al.*, 1998). CeBrUs, ein deutsches Entscheidungshilfesystem im Versuchsstadium (WERNER *et al.*, 2002), hat als Zielgröße den direktkostenfreien Mehrerlös. Indem finanzieller Aufwand und finanzieller Ertrag einander gegenübergestellt werden, wird eine Art flexibler Schadschwellen errechnet. Auch hier sind Herbizidpreise und Dosis-Wirkungsbeziehungen als Datengrundlage notwendig. Anders als bei CPO werden zusätzlich Ernteproduktpreise benötigt.

Zurzeit wird in einem EU-Projekt (DSSHerbicide, www.dssherbicide.eu) geprüft, ob das System CPO mit deutschen Daten auf norddeutsche Verhältnisse so angepasst werden kann, dass sinnvolle Beratungsempfehlungen ausgegeben werden. Es werden zwei Herbizidversuche vorgestellt, die unterschiedliche Prototypen des CPO testeten. Zum Vergleich dienten Bekämpfungsentscheidungen des CeBrUs-Systems sowie drei Expertenentscheidungen.

Material und Methoden

In Mecklenburg-Vorpommern wurden Herbizidversuche auf Winterweizenschlägen an zwei Standorten (Kritznow (54,043521 N, 12,059248 E) und Stover Acker (54,060521 N, 12,081735 E)) angelegt. Als Bodenart herrschte schwach lehmiger Sand vor. Die Felder hatten mittlere Ackerzahlen mit 42 bzw. 45 Bodenpunkten.

Die Versuche wurden nach EPP0 Standards (ANONYMUS, 2007) als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit sieben Prüfgliedern und einer unbehandelten Kontrolle in vier Wiederholungen (Blöcken) angelegt. Die Parzellen waren 3 m * 10,5 m (Kritzmow) bzw. 3 m * 11 m (Stover Acker) groß. In üblichen Herbizidversuchen sind die Prüfglieder Testprodukte und Referenzprodukte, von denen bekannt ist, dass sie unter praktischen Bedingungen zufrieden stellend wirken, werden zusätzlich geprüft. Den Testprodukten entsprachen in den Versuchen dieser Arbeit die Herbizidentscheidungen, die von vier Prototypen von Entscheidungshilfesystemen gefällt wurden. Den Referenzprodukten entsprachen drei Entscheidungen, die auf der Grundlage von unterschiedlichen Beratungsangeboten, die dem Landwirt üblicherweise zur Verfügung stehen, getroffen wurden. Geprüft wurden also sieben unterschiedliche Varianten:

- „CPOStandard“: entsprach in den Algorithmen dem dänischen Entscheidungshilfesystem Crop Protection Online, rechnete aber mit Daten zu 21 in Deutschland zugelassenen Herbiziden und 21 in norddeutschen im Winterweizen bedeutenden Unkrautarten. In CPOStandard haben dänische Pflanzenschutzexperten für vier frühe Entwicklungsstadien des Unkrauts für jede Unkrautart und fünf Unkrautdichteklassen eine angestrebte Wirkung („Zielwirkung“) vorgegeben, die durch die Herbizidapplikation erreicht werden muss.
- „CPOrisky“: entsprach in allem CPOStandard, arbeitete jedoch mit um 15 % erniedrigten Zielwirkungen, um die Grenzen des Herbizidreduktionspotentials zu erkennen.
- „CPOCeBrUs“: nutzte die Optimierungsalgorithmen von „CPOStandard“. Zielwirkungen waren mit Hilfe des Entscheidungshilfesystems „CeBrUs“ (siehe nächstes Prüfglied) für einen Durchschnitts-Herbizidpreis angepasst.
- „CeBrUs“: optimierte den prognostizierten, direktkostenfreien Mehrerlös. Die hinterlegten Daten zu Herbizidpreisen und Dosis-Wirkungsbeziehungen waren dieselben wie bei CPOStandard.
- „Berater“: die Herbizidentscheidungen wurden einem privaten Berater überlassen, der die Parzellen in Augenschein nahm. Der Berater hatte nur eine eingeschränkte Mittelauswahl zur Verfügung, die auch von den Entscheidungshilfesystemen genutzt wurde.
- „Warndienst“: die Herbizidentscheidung wurde nach Empfehlungen der vom Pflanzenschutzamt herausgegebenen Warndienstunterlagen getroffen.
- „Praxis“: der Herbizideinsatz entsprach der Unkrautbekämpfung, die auf dem Schlag um die Versuchsfläche herum vom Landwirt durchgeführt wurde.

Sowohl im Herbst wie auch im Frühjahr wurden auf Grundlage der Verunkrautungssituation Bekämpfungsentscheidungen gefällt. Die Unkrautbonituren erfolgten in Stichproben von 1/10 m². Im Herbst wurden die Versuchsflächen mit zehnfacher Wiederholung pro Block beprobt. Im Frühjahr wurde die Beprobung mit fünffacher Wiederholung pro Parzelle durchgeführt.

Bei der Eingabe in die Entscheidungshilfesysteme wurden alle Arten, nicht nur die Leitunkräuter, die dort eingepflegt waren, in ihren Dichten und Entwicklungsstadien berücksichtigt. Die Versuchspartellen wurden nach den Entscheidungen der verschiedenen Entscheidungsvarianten mit Herbiziden behandelt (Tab.1). Die Ausbringung der Herbizide erfolgte mit einer handgeschobenen Feldversuchsspritze.

Vier Wochen nach der Bekämpfung erfolgten die Wirkungsbonturen.

Im Milchreifestadium des Weizens wurde die gesamte oberirdische Biomasse von jeweils 1 m² pro Parzelle geerntet. Die Biomasse wurde frisch nach Arten getrennt, 72 Stunden bei 60 °C getrocknet (bis zur Gewichtskonstanz) und die Trockenmassen gewogen.

Der Weizen wurde zur Druschreife im Kerndrusch auf 18 m² (Kritzmow) bzw. 15 m² (Stover Acker) geerntet. Die Erträge wurden auf 14 % Feuchte standardisiert.

Für den Herbizidkostenvergleich wurden Preise von Herbizid-Großgebinden herangezogen, die auch in den Entscheidungshilfesystemen eingepflegt waren.

Ergebnisse

Unkrautsituation im Herbst vor der Behandlung

Auf dem Standort Kritzmow wurden im Mittel 57 Pflanzen/m² gezählt. Die Echte Kamille (*Matricaria recutita*) kam mit 30 Pflanzen/m² in der höchsten Dichte vor, gefolgt von Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) mit 13 Pflanzen/m² und Jähriger Risppe (*Poa annua*) mit 6 Pflanzen/m². Mit sechs Arten insgesamt war der Standort Kritzmow wesentlich artenärmer als der Standort Stover Acker, wo 22 Arten wuchsen. Auf dem Stover Acker wurde eine durchschnittliche Unkrautdichte von 276 Pflanzen/m² gezählt. Unkräuter mit der höchsten Dichte waren Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*: 87/m²), Jährige Risppe (*Poa annua*: 35/m²), Windhalm (*Apera spica-venti*: 29/m²), Echte Kamille (*Matricaria recutita*: 27/m²) und Stiefmütterchen (*Viola arvensis*: 26/m²).

Bekämpfungserfolg der Herbstapplikation

Die Herbizidwirkungen im Herbst für die Unkrautarten mit den höchsten Dichten sind in Abb. 1 dargestellt. Der Windhalm gehörte auf dem Stover Acker ebenfalls zu der Leitverunkrautung. Weil er oft nur in einer oder zwei Wiederholungen vorkam, wurde für den Windhalm jedoch keine Wirkung berechnet.

Zusammenfassend gilt, dass die Herbizidwirkungen auf dem Standort Kritzmow höher waren - meist mehr als 95 % Wirkung - und geringere Spannweiten aufwiesen. Für die Jährige Risppe wurden in Kritzmow in der Variante CPOStandard und in der Variante Berater mit 85 % nur geringere Wirkungen erreicht. Auf dem Stover Acker fielen besonders in den CPO-Varianten geringere Wirkungen (80 - 85 % für Hirtentäschel, Echte Kamille und Jährige Risppe) auf. Mit dem Kruskal-Wallis-Test wurde getestet, ob sich die Wirkungsgrade der betrachteten Unkräuter unter Berücksichtigung der Varianten statistisch voneinander unterschieden ($\alpha = 0.05$). Für die Herbstapplikation konnte ein signifikanter Unterschied in den Varianten nur für die Echte Kamille und die Jährige Risppe auf dem Standort Stover Acker nachgewiesen werden.

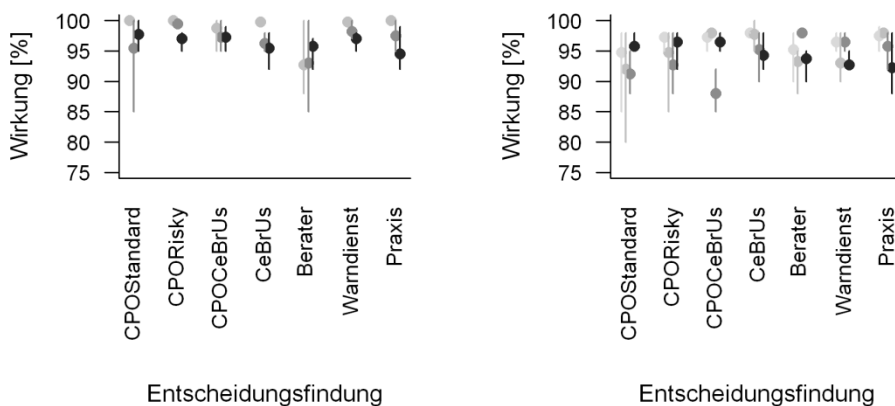


Abb. 1 Wirkung der Herbizidbehandlung im Herbst auf häufig vorkommende Unkrautarten in zwei Herbizidversuchen (links: Kritzmow, rechts: Stover Acker) in Abhängigkeit von der Art der Entscheidungsfindung. Dargestellt sind Mittelwert (Kreise) und Spannweite (Linien) ($n = 4$). Unkrautarten: ● *Capsella bursa-pastoris*, ● *Matricaria recutita*, ● *Poa annua*, ● *Viola arvensis*.

Fig. 1 Efficacy of autumn herbicide treatment on weed species with high frequency in two herbicide field trials (left: Kritzmow, right: Stover Acker) depending on the way of decision-making. Mean (circles) and range (lines) are indicated ($n = 4$). Weed species: ● *Capsella bursa-pastoris*, ● *Matricaria recutita*, ● *Poa annua*, ● *Viola arvensis*.

Trockenmasse der Unkräuter nach Abschluss der Applikationen

Die Trockenmasse der Unkräuter lag auf dem Standort Kritzmow in der unbehandelten Variante bei 111,6 g/m² (Mittelwert der vier Wiederholungen). Im Vergleich dazu wiesen alle behandelten Varianten eine signifikante Reduktion der Trockenmasse auf. Zwischen den Entscheidungsvarianten unterschied sich die Unkrauttrockenmasse nicht signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0.05$). In der Tendenz blieb am meisten Unkrautmasse in den Varianten „CPOrisky“ (14,8 g/m²) und „CPOCeBrUs“ (12,8 g/m²) stehen. In den behandelten Parzellen wurde die meiste Trockenmasse durch Ausfallgerste gebildet. In den unbehandelten Parzellen wurde die höchste Trockenmasse durch die Kornblume (*Centaurea cyanus*) gebildet. Die Kornblume gehörte nicht zur Leitverunkrautung, trat aber in der Probefläche in einer Wiederholung mit 262,7 g/m² stark auf und hob damit auch den Mittelwert der Gesamttrockenmasse an.

Auf dem Stover Acker lag die Unkrauttrockenmasse in der unbehandelten Variante bei 82,6 g/m². Auch hier reduzierten alle Entscheidungsvarianten die Trockenmasse signifikant, und unterschieden sich untereinander nicht (Tukey-Test, $\alpha = 0.05$). In der Tendenz wurde die höchste Trockenmasse in der Variante „Praxis“ gemessen (30,4 g/m²). Sie wurde hauptsächlich von Quecke (*Agropyron repens*) und Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvensis*) gebildet. In den unbehandelten Parzellen war die Unkrautzusammensetzung zum Stadium der Milchreife des Weizens mit 25 Arten artenreich. Die höchste Trockenmasse wurde hier von Echter Kamille gebildet.

Herbizidkosten

Einen Überblick über die eingesetzten Herbizide gibt Tabelle 1. Die Kosten der Herbizide sind, aufgeteilt in Kosten für die Herbst- und die Frühjahrsapplikation, in Abb. 2 dargestellt.

Auf dem Standort Kritzmow sind die Herbizidkosten in den behandelten Varianten im Mittel (33,96 €/ha) geringer als auf dem Standort Stover Acker (53,95 €/ha).

In Kritzmow lag die Spannweite der Kosten zwischen 5,85 €/ha für „CPOCeBrUs“ und 62,98 €/ha für die Variante „Praxis“. Die Kosten nach der Entscheidung mit allen vier Entscheidungshilfesystemen lagen unter den Kosten der preiswertesten Expertenvariante „Warndienst“. Alle Entscheidungswege führten dazu, dass zur Herbstapplikation höhere Kosten anfielen als zur Frühjahrsapplikation.

Auf dem Stover Acker waren „CPOrisky“ und „CPOStandard“ die teuersten Bekämpfungsvarianten mit 79,54 €/ha bzw. 75,21 €/ha, die preiswerteste war „CeBrUs“ mit 29,71 €/ha. Es fällt auf, dass die Herbstbehandlungen der CPO-Varianten nicht viel kosteten. Nur diese Varianten mussten im Frühjahr behandelt werden, sodass die Gesamtkosten dann für zwei CPO-Varianten im Vergleich zu den anderen am höchsten waren.

Tab. 1 Herbizidauswahl zur Nachauflaufbehandlung im Herbst und im Frühjahr in zwei Herbizidversuchen mit Varianten unterschiedlicher Entscheidungsfindung.

Tab. 1 Choice of herbicides for autumn resp. spring application in two field trials. Treatments are different ways of decision making.

Standort	Saison	Entscheidung	Datum	Herbizide (Aufwandmenge l/ha o. kg/ha)		
Kritzmow	Herbst	CPOStandard	24.10.12	Absolute M [®] (0,028) + Cadou SC [®] (0,18)		
		CPORisky	24.10.12	Absolute M [®] (0,022) + Cadou SC [®] (0,15)		
		CPOCeBrUs	24.10.12	Absolute M [®] (0,034)		
		CeBrUs	24.10.12	Absolute M [®] (0,072)		
		Berater	24.10.12	Herold SC [®] (0,3)		
		Warndienst	29.10.12	Bacara Forte [®] (0,8)		
		Praxis	24.10.12	Bacara Forte [®] (0,5) + Lexus [®] (0,013)		
	Frühjahr	CPOStandard	13.05.13	Ariane C [®] (0,112)		
		CPORisky	13.05.13	Pointer SX [®] (0,019)+ Ariane C [®] (0,15)		
		CPOCeBrUs		keine Applikation		
		CeBrUs	13.05.13	Starane XL [®] (0,36)		
		Berater	13.05.13	Ariane C [®] (0,75)		
		Warndienst	13.05.13	Tomigan 180 [®] (0,6)		
		Praxis	13.05.13	Ariane C [®] (1,0)		
		Stover Acker	Herbst	CPOStandard	24.10.12	Absolute M [®] (0,037) + Cadou SC [®] (0,23)
				CPORisky	24.10.12	Absolute M [®] (0,032) + Cadou SC [®] (0,18)
				CPOCeBrUs	24.10.12	Absolute M [®] (0,038) + Cadou SC [®] (0,05)
CeBrUs	24.10.12			Herold SC [®] (0,24) + Lexus [®] (0,006)		
Berater	30.10.12			Bacara Forte [®] (0,8)		
Warndienst	24.10.12			Bacara Forte [®] (0,75) + Cadou SC [®] (0,3)		
Praxis	24.10.12			Herold SC [®] (0,4) + Lexus [®] (0,02)		
Frühjahr	CPOStandard		08.05.13	Broadway [®] (0,173) + FHS [®] (0,6)		
	CPORisky		08.05.13	Monitor [®] (0,025) + Starane XL [®] (0,74) + Monfast [®] (0,4)		
	CPOCeBrUs		08.05.13	Monitor [®] (0,019) + Monfast [®] (0,4)		
	CeBrUs			keine Applikation		
	Berater			keine Applikation		
	Warndienst			keine Applikation		
	Praxis			keine Applikation		

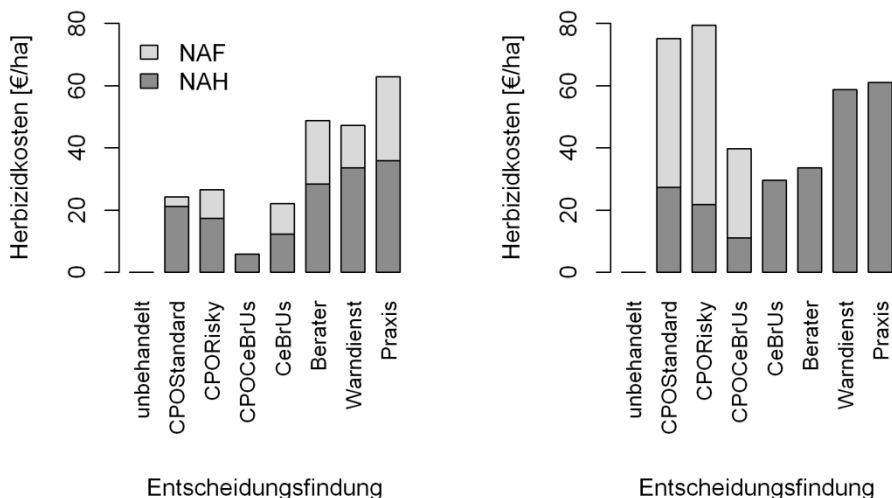


Abb. 2 Herbizidkosten der Nachauflauf-Unkrautbekämpfung im Herbst (NAH) und im Frühjahr (NAF) in Abhängigkeit vom Weg der Entscheidungsfindung auf den Versuchsstandorten Kritzmow (links) und Stover Acker (rechts).

Fig. 2 Herbicide costs of weed treatment in autumn (NAH) and spring (NAF), depending on the way of decision-making in Kritzmow (left) and Stover Acker (right).

Weizenertrag

Die Weizenerträge lagen auf dem Standort Kritzmow bei 92,0 dt/ha im Mittel der behandelten Varianten (Abb. 3). In der unbehandelten Variante war der Ertrag um 5,7 dt/ha reduziert. „CPOCeBrUs“ und „Praxis“ hatten mit 90,9 und 90,5 dt/ha die geringsten, „CPOStandard“ und „Berater“ mit 93,2 bzw. 93,3 dt/ha die höchsten gemessenen Erträge. Die „Berater“- Variante wies geringste die Standardabweichung auf. Die Ertragsunterschiede ließen sich nicht absichern (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$; Varianzanalyse: Tab. 2).

Tab. 2 Tabelle der Varianzanalyse für Herbizidfeldversuche an zwei Standorten. Prüfglieder sind unterschiedliche Wege der Entscheidungsfindung.

Tab. 2 Table of variance for yields in two herbicide field trials. Treatments are different ways of decision making.

Standort	Ursache	FG	Quadratsumme	Mittlere Quadratsumme	F-Wert	p (> F)
Kritzmow	Entscheidungsfindung	7	150.3	21.5	0.580	0.76
	Block	3	1128.1	376.0	10.159	< 0.001
	Residuen	21	777.3	37.0		
Stover Acker	Entscheidungsfindung	7	94.1	13.4	1.479	0.23
	Block	3	14.2	4.7	0.521	0.67
	Residuen	21	191.0	9.1		

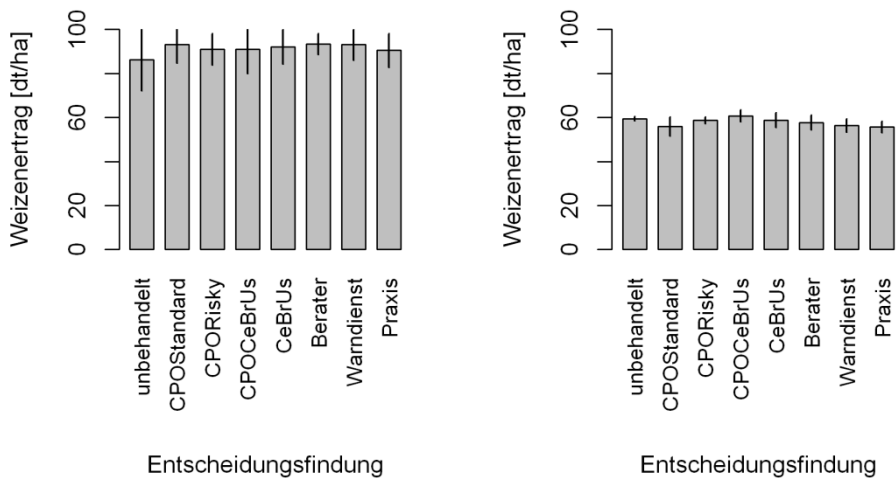


Abb. 3 Winterweizenertrag in Abhängigkeit vom Weg der Entscheidungsfindung auf den Versuchsstandorten Kritzmow (links) und Stover Acker (rechts). Mittelwerte (Balken) und Standardabweichungen (Linien) von vier Wiederholungen.

Fig. 3 Winter wheat yield depending on the way of decision-making in Kritzmow (left) and Stover Acker (right). Means (bars) and standard deviations (lines) of four replications.

Auf dem Stover Acker war das Ertragsniveau der behandelten Varianten mit einem Mittelwert von 57,7 dt/ha deutlich niedriger verglichen zum Standort Kritzmow (Abb. 3). Den höchsten Ertrag hatte hier die Variante „CPOCeBrUs“ mit 60,8 dt/ha. Sie brachte damit 5,0 dt/ha mehr als „Praxis“ mit den niedrigsten Erträgen. Auch auf dem Stover Acker unterschieden sich die Erträge nicht signifikant voneinander (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$; Varianzanalyse: Tab. 2).

Diskussion

In der Herbstapplikation fallen bei den Entscheidungshilfesystemen einzelne Wirkungen unter 90 % auf, die im Allgemeinen als unbefriedigend angesehen werden. Diese Minderwirkungen müssen im Zusammenhang mit der Unkrautdicke gesehen werden. Die CPO-Prototypen ermitteln das notwendige Maß des Herbizideinsatzes, die notwendige Aufwandmenge anhand der angestrebten Wirkungen („Zielwirkungen“), die von der Unkrautart, der Unkrautdicke und der Unkrautgröße abhängen. Diese wurden von dänischen Pflanzenschutzexperten geschätzt und im Entscheidungshilfesystem gespeichert (RYDAHL, 2003). Eine Zielwirkung kann bei geringer Unkrautdicke und Unkräutern im kleinen Entwicklungsstadium artabhängig bei nur 50 % liegen. Die durch die Minderwirkung nicht erfasste Verunkrautung wird als tolerierbare Restverunkrautung eingeschätzt, die keine Auswirkung auf den Ertrag hat. CeBrUs ermittelt das notwendige Maß anhand von flexiblen Schadensschwellen (WERNER *et al.*, 2002). Bei geringen Ausgangsverunkrautungen, und als solche müssen die Dichten in Kritzmow gewertet werden (vgl. DE MOL *et al.*, dieser Band), ist es ökonomisch nicht sinnvoll, mehr Herbizide auszubringen als zum Erreichen einer tolerierbaren Restverunkrautung notwendig ist. Im Unterschied zu den CPO-Prototypen wird bei CeBrUs eine Ertragsminderung in Kauf genommen, wenn die Kosten für die Herbizidbehandlung über den Kosten des entgangenen Ertrags liegen würden. Sowohl bei den CPO-Prototypen wie auch bei CeBrUs sind also geringere Wirkungen in schwach verunkrauteten Beständen zu erwarten, da die Wirkung nur so hoch angestrebt wird, dass die Dichte der tolerierbaren Restverunkrautung nicht überschritten wird.

Die Ergebnisse des Ertrags lagen für die unterschiedlichen Entscheidungsvarianten erstaunlich nahe beieinander. In Kritzmow hatte die unbehandelte Variante zwar geringere Erträge, diese ließen sich statistisch jedoch wegen hoher Blockeffekte (Tab. 2) nicht absichern. Die geringe Verunkrautung auf diesem Standort führte wahrscheinlich dazu, dass auch in der unbehandelten Kontrolle Auswirkungen auf den Ertrag gering waren. Auf dem Stover Acker entschied sich der Bewirtschafter gegen den Einsatz von Wachstumsregulatoren und gegen eine zweite Fungizidbehandlung. Das hatte in allen Varianten und allen Wiederholungen sehr hohe Weizenbestände und starken Mehлтаubefall zur Folge. Der hohe Weizen kann wesentlich zur Unkrautunterdrückung beigetragen haben, der Mehltau der ertragsbegrenzende Parameter gewesen sein, so dass Ertragsunterschiede selbst zur unbehandelten Kontrolle nicht mehr zu bestimmen waren. Dass die Erträge der Varianten, bei denen über eine etwaige Behandlung entschieden wurde, im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle nicht erhöht waren, schmälert die Aussagekraft der Versuche nicht, denn jeder Weg der Entscheidung hätte auch zu dem Entschluss führen können, keine Herbizide einzusetzen.

Die Trockenmassen der Unkräuter nach Abschluss aller Bekämpfungsmaßnahmen unterschieden sich wie die Erträge nicht signifikant zwischen den Entscheidungsvarianten. Das heißt insbesondere, dass die Unkrautbekämpfung, für die sich auf herkömmlichen Wegen entschieden wurde (Berater, Warndienst, Praxiserfahrung), hinsichtlich der Restverunkrautung und dem Weizenertrag den durch Entscheidungshilfesysteme empfohlene Bekämpfungsmaßnahmen weder unterlegen noch überlegen waren. Die Unkrauttrockenmassen in den behandelten Parzellen wurden hauptsächlich von Arten gebildet, die nicht zu den oben beschriebenen Leitunkräutern im Herbst gehörten (Wintergerste in Kritzmow, Quecke und Ackerschachtelhalm auf dem Stover Acker). Die Herbizidwirkungen waren offensichtlich hoch genug, um die Herbstleitunkräuter ausreichend zu bekämpfen.

Die Herbizidkosten in den Expertenvarianten der Herbizidversuchen lagen in ähnlicher Höhe wie die Kosten der Testbetriebe in Mecklenburg-Vorpommern (im Jahr 2012 bei 46 €/ha) (ZIESEMER und HEILMANN, 2013). In den getesteten Expertenvarianten betragen die Herbizidkosten im Mittel 52,06 €/ha. Die Expertenvarianten liegen damit in dem Kostenbereich, der in der Praxis üblich ist. Die Werte der computergestützten Alternativen lassen in Kritzmow ein Einsparpotential durch die Nutzung eines Entscheidungshilfesystems erkennen. Auf dem Stover Acker hingegen waren die Kosten für die Herbstbehandlung zwar gering, dafür wurde jedoch im Frühjahr in den CPO-Varianten eine kostspielige Bekämpfung benötigt. Die in der Praxis bekannte Empfehlung einen hohen Bekämpfungserfolg im Herbst anzustreben, wurde hier untermauert. Offensichtlich waren die niedrigeren Wirkungen (Abb. 1) auf dem Stover Acker im Herbst nicht ausreichend.

Aus den Ergebnissen der Versuche lässt sich schlussfolgern, dass DSSHerbizide im Vergleich zu herkömmlichen Expertenentscheidungen ähnlich gute Ergebnisse ergab. Es soll deswegen in der Praxis weiter getestet werden. Voraussetzung für eine Akzeptanz in der Praxis ist allerdings nicht nur ein intelligentes, aktuelles Entscheidungshilfesystem, sondern auch Nutzer des Systemorientierten Typs nach JØRGENSEN *et al.* (2007), die ihre Schläge mit der jeweiligen Verunkrautung kennen.

Danksagung

Die EU ermöglichte mit der Finanzierung des Projekts DSSHerbizide die Entwicklung von drei Prototypen im Rahmen des South Baltic Programmes, wofür die Autoren danken.

Literatur

- ANONYMUS, 2007: Weeds in cereals: Efficacy evaluation of herbicides., OEPP Bull **37** (3), 482–485.
- BÜRGER, J., F. DE MOL und B. GEROWITT, 2008: The "necessary extent" of pesticide use - thoughts about a key term in German pesticide policy. Crop Prot. **27** (3-5), 343-351.
- RYDAHL, P., 2003: A web-based decision support system for integrated management of weeds in cereals and sugarbeet. OEPP Bull. **33** (3), 455-460.
- STREIBIG, J.C., P. KUDSK und J. E. JENSEN, 1998: A general joint action model for herbicide mixtures. Pestic. Sci. **53** (1), 21-28.

- WERNER, B., F. DE MOL und B. GEROWITT, 2002: CeBrUs - ein Beratungssystem für die Unkrautbekämpfung in Raps und Getreide im Internet. *J. Plant. Dis. Protect., Spec. Iss.* **XVIII**, 391-398.
- WILSON, B. J., K. J. WRIGHT, P. BRAIN, M. CLEMENTS und E. STEPHENS, 1995: Predicting the competitive effects of weed and crop density on weed biomass, weed seed production and crop yield in wheat. *Weed Res.* **35** (4), 265-278.
- ZIESEMER, A., und H. HEILMANN, 2013: Jahresbericht 2012. Ökonomische Bewertung ausgewählter Verfahrensabschnitte im Acker- und Pflanzenbau auf der Basis von Schlagkarteidaten. Hg.: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Gülzow, 21 Seiten.

Sektion 5: Unkrautmanagement ohne Herbizide

Section 5: Weed management without herbicides

Do cover crop mixtures have the same ability to suppress weeds as competitive monoculture cover crops?

Haben Zwischenfruchtmischungen dieselbe Fähigkeit zur Unkrautunterdrückung wie eine konkurrenzkräftige Reinsaat?

Jochen Brust*, Jonas Weber and Roland Gerhards

University of Hohenheim, Institute of Phytomedicine, Otto-Sander-Straße 5, 70599 Stuttgart, Germany

*Corresponding author, jochen.brust@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.053

Abstract

An increasing number of farmers use cover crop mixtures instead of monoculture cover crops to improve soil and crop quality. However, only little information is available about the weed suppression ability of cover crop mixtures. Therefore, two field experiments were conducted in Baden-Württemberg between 2010 and 2012, to compare growth and weed suppression of monoculture cover crops and cover crop mixtures. In the first experiment, heterogeneous results between yellow mustard and the cover crop mixture occurred. For further research, a field experiment was conducted in 2012 to compare monocultures of yellow mustard and hemp with three cover crop mixtures. The evaluated mixtures were: "MELO": for soil melioration; "BETA": includes only plant species with no close relation to main cash crops in Central Europe and "GPS": for usage as energy substrate in spring. Yellow mustard, MELO, BETA and GPS covered 90% of the soil in less than 42 days and were able to reduce photosynthetically active radiation (PAR) on soil surface by more than 96% after 52 days. Hemp covered 90% of the soil after 47 days and reduced PAR by 91% after 52 days. Eight weeks after planting, only BETA showed similar growth to yellow mustard which produced the highest dry matter. The GPS mixture had comparatively poor growth, while MELO produced similar dry matter to hemp. Yellow mustard, MELO and BETA reduced weed growth by 96% compared with a no cover crop control, while hemp and GPS reduced weeds by 85% and 79%. In spring, weed dry matter was reduced by more than 94% in plots with yellow mustard and all mixtures, while in hemp plots weeds were only reduced by 71%. The results suggest that the tested cover crop mixtures offer similar weed suppression ability until spring as the monoculture of the competitive yellow mustard.

Keywords: Cover crop, mixed cropping, Hemp, weed control, weed density, weed suppression, Yellow mustard

Zusammenfassung

Eine steigende Zahl von Landwirten verwendet Zwischenfruchtmischungen anstelle von Reinsaaten, um die Qualität ihres Standortes sowie ihrer Kulturpflanzen zu steigern. Jedoch sind nur wenige Informationen über die unkrautunterdrückende Wirkung von Zwischenfruchtmischungen verfügbar. Deshalb wurden zwischen den Jahren 2010 und 2012 zwei Feldversuche in Baden-Württemberg durchgeführt, um die unkrautunterdrückende Wirkung von Zwischenfruchtmischungen und konkurrenzkräftigen Reinsaaten zu vergleichen. Während des ersten Experiments erzielten Gelbsenf und die Zwischenfruchtmischung unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich Wachstum und Unkrautunterdrückung. Deshalb wurde im folgenden Jahr ein weiterer Feldversuch durchgeführt, bei dem Reinsaaten von Gelbsenf und Hanf mit drei Zwischenfruchtmischungen verglichen wurden. Die Zwischenfruchtmischungen waren: "MELO", zur Boden-Melioration, "BETA", die nur Pflanzenarten ohne nähere Verwandtschaft zu wichtigen Kulturpflanzen in Mitteleuropa enthält, sowie "GPS", die im Frühjahr zur Ganzpflanzensilage verwendet werden kann. Gelbsenf, MELO, BETA und GPS bedeckten 90 % der Bodenoberfläche in weniger als 42 Tagen und konnten die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) an der Bodenoberfläche nach 52 Tagen um mehr als 96 % verringern. Hanf bedeckte 90 % der Bodenoberfläche nach 47 Tagen und reduzierte die PAR an der Bodenoberfläche um 91 % nach 52 Tagen. Acht Wochen nach Aussaat zeigte nur BETA ein ähnliches Wachstum wie Gelbsenf, der die höchste Trockenmasse aller Varianten aufwies. Die GPS-Mischung zeigte zu diesem Zeitpunkt nur eine

geringe Trockenmassebildung, während MELO ähnliche Werte wie Hanf aufwies. Gelbsenf, MELO und BETA konnten die Unkraut-Trockenmasse nach acht Wochen um mehr als 97 % gegenüber einer Kontrollvariante ohne Zwischenfrüchte verringern, während Hanf sowie die GPS-Mischung nur eine Verringerung von 85 % bzw. 79 % erreichten. Im Frühjahr wurde in den Parzellen mit Gelbsenf und allen Zwischenfruchtmischungen eine Reduzierung der Unkraut-Trockenmasse von mehr als 94 % festgestellt, während in den Hanf-Parzellen nur eine Verringerung von 71 % erreicht wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die verwendeten Zwischenfruchtmischungen bis zum Frühjahr eine ähnliche Unkrautunterdrückung wie eine Reinsaat des konkurrenzkräftigen Gelbsenfs aufweisen.

Stichwörter: Gelbsenf, Hanf, Mischfrucht, Monokultur, Unkrautdichte, Unkrautkontrolle, Zwischenfrucht, Zwischenfruchtmischung

Introduction

The cultivation of cover crops is an integral part of every agricultural system and required for best management practice, particularly if tillage intensity is reduced. Cover crops are able to improve water, air and nutrient conditions of the soil due to creation of macropores, increase of soil organic matter and the capture, recycling and redistribution of nutrients (LOGSDON *et al.*, 2001; DING *et al.*, 2006; HOOKER *et al.*, 2008; KASPAR *et al.*, 2012). Cover crops are also able to provide a habitat for beneficial insects, increase the microbial activity and reduce the leaching of herbicides into groundwater, which are all important requirements for a sustainable and environmentally friendly crop production (TILLMAN *et al.*, 2004; POTTER and BOSCH, 2007). A further important reason for cover crop cultivation, especially in reduced and no-tillage systems, is the suppression of weeds and volunteers. For effective and sustainable weed suppression, cover crops should fast reduce the photosynthetically active radiation (PAR) on the soil surface to prevent growth of weeds. Main requirements for fast PAR reduction are a quickly and intensive shading of the soil surface and a high above ground dry matter (DM) production (UCHINO *et al.*, 2011).

Today, mainly monocultures of yellow mustard (*Sinapis alba*), oilseed radish (*Raphanus sativus*) and phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) are grown in Central Europe. Yellow mustard is the predominant cover crop because it offers lots of beneficial characteristics for simple and successful cultivation. Yellow mustard is easy to establish, covers the soil quickly and produces a high amount of above-ground biomass, which stores nitrogen and ensures a long shading of the soil surface (STIVERS-YOUNG, 1998; BODNER *et al.*, 2010). Due to these characteristics, yellow mustard is able to prevent soil erosion, to reduce leaching of nitrate into ground water and to control the growth of weeds and volunteers (BRENNAN and SMITH, 2005; BECKIE *et al.*, 2008). Although several cover crop species have a fast growth and high weed suppression ability, many field experiments indicate that cover crop mixtures are sometimes better suited for weed suppression (AKEMO *et al.*, 2000). Due to faster canopy closure, higher leaf area index and total DM production, polycultural plant stands have often higher competition ability against weeds than a single cover crop species (AKEMO *et al.*, 2000; SPEHN *et al.*, 2000; HAUGGAARD-NIELSEN *et al.*, 2001; UCHINO *et al.*, 2011). Not only for weed suppression, mixtures of plant species provide lots of benefits compared to a monoculture. Due to higher biodiversity, plant mixtures are characterized by improved DM production, increased water and nutrient-use efficiency and higher resilience to environmental influences (MORRIS and GARRITY, 1993; MALEZIEUX *et al.*, 2009; TILLMAN *et al.*, 2004). Especially the higher resilience to environmental influences and an adequate DM production under various site conditions are important factors for reliable and effective weed suppression by cover crops.

The objective of this study was the comparison of monocultural cover crops with cover crop mixtures regarding their growth and weed suppression ability in autumn and spring to determine if cover crop mixtures have the same ability for weed control than a competitive monocultural cover crop species.

Material and Methods

Field experiments in 2010 and 2011

The first field experiment was conducted in Baden-Württemberg at the experimental station Ihinger Hof (IHO) (48°74'N, 8°92'O, 478 m altitude) in 2010 and 2011, and at the experimental Station Meiereihof (MHO) (48°71'N, 9°21'O, 435 m altitude) in 2011. Soil type at IHO is a Haplic Luvisol with clay loam as soil texture in topsoil. Soil mineral nitrogen content (N_{\min}) in topsoil (0-60 cm) at cover crop sowing was 18.1 kg N ha⁻¹ in 2010 and 17.5 kg N ha⁻¹ in 2011. The soil at MHO is classified as Haplic Luvisol with sandy clay loam as soil texture and an N_{\min} content of 36.4 kg ha⁻¹ in topsoil. No additional fertilizer was applied to test how cover crops perform in low-input cropping systems. The climatic conditions at IHO are characterized by an annual precipitation of 794 mm and an average temperature of 9.2 °C, while MHO has an annual precipitation of 700 mm and an average temperature of 8.8 °C. Treatments used in the experiment were yellow mustard with a seed density of 12.7 kg ha⁻¹, a cover crop mixture with a seed density of 50.0 kg ha⁻¹ and a no cover crop control. The used cover crop mixture consisted of beerseem clover (*Trifolium alexandrinum*), common vetch (*Vicia sativa*), tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) and niger seed (*Guizotia abyssinica*) with a sowing ratio of 31%, 17%, 14% and 38%, respectively.

Field experiment 2012

The field experiment in 2012 was conducted at the experimental station Kleinhohenheim (KHH) (48°74'N, 9°21'O, 435 m altitude) in the south of Stuttgart. Soil type at KHH is a Haplic Luvisol with clay loam as soil texture in topsoil. N_{\min} content in the 0-30 cm soil layer at cover crop sowing was 35 kg ha⁻¹. Equally to the previous experiment, no additional fertilizer was applied. Climatic conditions at the experimental station are characterized by an annual precipitation of 700 mm and an average annual temperature of 8.8 °C.

The tested treatments included two monoculture cover crop treatments, three cover crop mixtures and a no cover crop control. The monoculture treatments contain yellow mustard and hemp with a seeding rate of 20 kg ha⁻¹ and 50 kg ha⁻¹, respectively. The "MELO" mixture was created for soil melioration and consists of forage radish (*R. sativus* L. variety *longipinnatus*), blue lupin (*Lupinus angustifolius*), berseem clover, fava bean (*V. faba*), flax (*Linum usitatissimum*), lopsided oat (*Avena strigosa*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) with a sowing ratio of 15%, 15%, 15%, 15%, 20%, 15% and 5%, respectively. The "BETA" mixture included species which are not closely related to important cash crops in Central Europe, and consisted of niger seed, flax (*Linum usitatissimum*), phacelia, grain amaranth (*Amaranthus cruentus*), tartary buckwheat, common corncockle (*Agrostemma githago*) and lopsided oat with a sowing ratio of 20%, 15%, 20%, 10%, 10%, 10% and 15%, respectively. The "GPS" mixture was composed for usage as energy substrate in biogas plants and consists of rye (*Secale cereale*), triticale (*Triticosecale*), winter pea (*Pisum sativum*) and hairy vetch (*V. villosa*) with a sowing ratio of 35%, 10%, 25% and 30%, respectively. Seeding rate of MELO, BETA and GPS were 291 kg ha⁻¹, 34 kg ha⁻¹ and 159 kg ha⁻¹, respectively.

Experimental design, data collection and statistical analysis

Experimental design in all trials was a randomized complete block with four replicates and a plot size of 2 m by 20 m. Cover crops were sown following to the main crop winter wheat in all experiments. Immediately after harvest, wheat straw was removed from the field and 5 cm deep tillage was conducted with a disc harrow in 2010 and 2011, while a rotary tiller was used in 2012. Cover crops were sown on August 21st, August 3rd, August 9th and August 8th at IHO 2010, IHO 2011, MHO 2011 and KHH 2012, respectively.

Soil coverage was determined by capturing RGB-pictures with a digital camera from an area of 12 m² in each plot eight weeks after planting (WAP). Pictures were analyzed with the computer program "ImageJ" Version 1.47a. After converting pictures into HSB-format, the procedure "Color Threshold" was used to separate green color of plants from bare soil. The estimation of separated areas was carried out using the procedure "Analyze Particles". In the field experiment 2012,

reduction of the photosynthetically active radiation (PAR) by the cover crop stand was determined using the Apogee quantum sensors "MQ-100" 52 days after planting. To estimate PAR reduction by cover crops, PAR on the soil surface was compared with the PAR value directly over the canopy. For determination of cover crop and weed DM, plant samples were taken from an area of 0.5 m² eight WAP. After harvest, plant tissue was dried for three days at 80 °C. At the beginning of the vegetation period in spring, density of weeds was measured using a 0.1 m² frame at four randomly selected positions in the plots.

Results were analyzed using the statistical language R version 2.15 (R CORE TEAM, 2012). To compare soil coverage of cover crops in 2012, the "drc-package" version 2.3-0 was used as described by RITZ and STREIBIG (2005). Weekly values of soil coverage were compared with maximum soil coverage, transformed in percent values and afterwards fitted by a three-parameter logistic curve. T₉₀-values, which express the time (in days after planting) of 90% soil coverage, were calculated and compared using "ED" and "SI" procedures, respectively. Comparison of soil coverage in 2010 and 2011, DM of cover crops and weeds, and the weed density were conducted by analysis of variance. Data were checked for normality using the Shapiro-Wilk test and by the Levene-test for homogeneity of variance, and afterwards log-transformed if needed to achieve requirements for the statistical analysis. Afterwards multiple comparison tests were performed with the Tukey-Test at a significance level of $\alpha \leq 0.05$.

Results

Weather conditions

Weather conditions between August and November in 2010 were cold and rainy and inhibited adequate cover crop growth, especially of thermophilic species. In the following growing season during autumn 2011, weather was characterized by many warm and sunny days and adequate precipitation for cover crop growth. In autumn 2012, good growing conditions occurred in August and October, while September was characterized by weather colder than the long-term average.

Tab. 1 Monthly average temperature and precipitation during the experimental seasons at Ihinger Hof, Meiereihof and Kleinhohenheim.

Tab. 1 Monatsmittelwerte von Temperatur und Niederschlag während der Versuchszeiträume an den Standorten Ihinger Hof, Meiereihof und Kleinhohenheim.

Location	Air temperature (°C)				Precipitation (mm)			
	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
Ihinger Hof 2010	16.4	12.1	7.8	4.6	80.5	43.5	42.0	76.5
Ihinger Hof 2011	18.4	15.4	9.2	5.0	54.4	60.8	58.5	0.6
Meiereihof 2011	18.8	16.4	10.0	5.0	56.1	28.4	29.3	0.6
Kleinhohenheim 2012	20.1	14.5	9.3	5.7	42.6	43.6	51.0	128.4

Field Experiment 2010 and 2011

In 2010, yellow mustard had a 23.3% higher soil coverage than the cover crop mixture eight WAP (Fig. 1). In the following growing season, the cover crop mixture had a 15.5% higher soil coverage than yellow mustard at IHO eight WAP, while at MHO both treatments covered the soil in a similar amount. In the first growing season, DM of yellow mustard was more than four times higher than those of the cover crop mixture. In 2011, DM of both cover crop treatments was similar at IHO,

however, at MHO, yellow mustard produced 488 g m⁻² DM while the cover crop mixture was only able to produce 280 g m⁻².

Weed pressure was different during the experiment. While in the first growing season only 21 g m⁻² DM was produced in the control plots at IHO, in 2011, there were 72 g m⁻² at IHO and 236 g m⁻² at MHO. In 2010, yellow mustard reduced weed DM by 92% eight WAP, while the cover crop mixture reduced weed DM by 61%. In 2011, yellow mustard and the cover crop mixture showed similar weed reduction by 94% and 87% at IHO. However, at MHO in 2011, the cover crop mixture reached only a weed suppression of 74%, while yellow mustard was able to reduce weed DM by 92%. At all location in both growing seasons, almost no weeds (less than three plants m⁻²) occurred in plots of yellow mustard in spring. The cover crop mixture offered different results and could reduce weed density in spring by 38%, 86% and 88% at IHO in 2010, IHO in 2011 and MHO in 2011, respectively.

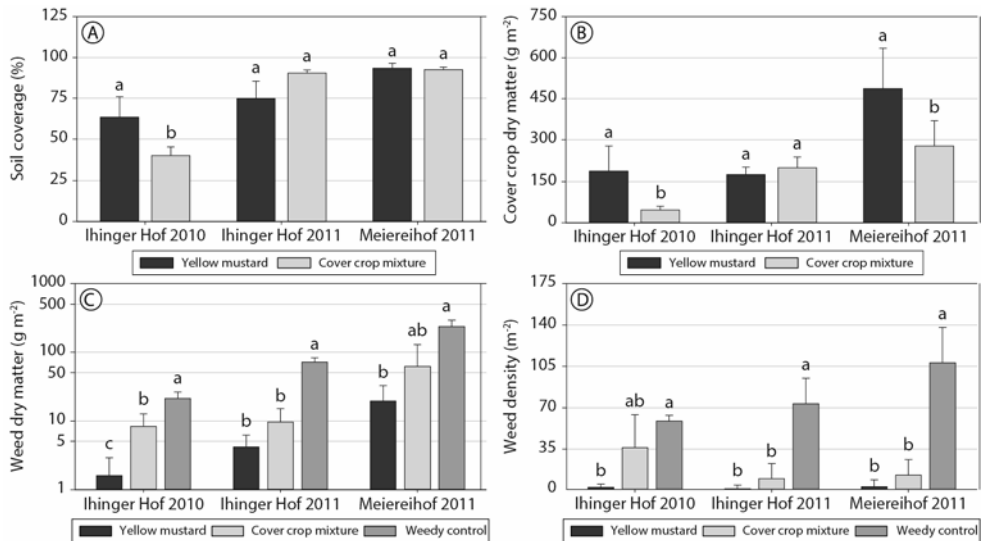


Fig. 1 Soil coverage (A), cover crop dry matter (B), weed dry matter in autumn (scaled logarithmically) (C) and weed density in spring (D) at Ihinger Hof and Meiereihof in 2010 and 2011. Bars represent mean values ± standard deviation. Within each location and year, significant differences ($\alpha \leq 0.05$) are indicated by bars topped with different letters.

Abb. 1 Bodenbedeckung (A), Trockenmasse der Zwischenfrüchte (B), Trockenmasse der Unkräuter im Herbst (logarithmisch skaliert) (C) sowie Unkrautdichte zu Vegetationsbeginn (D) an den Standorten Ihinger Hof und Meiereihof in den Jahren 2010 und 2011. Mittelwerte innerhalb eines Standortes und Jahres mit demselben Buchstaben weisen bei einem Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0.05$ keine Unterschiede auf. Die Fehlerbalken stellen jeweils die Standardabweichung der Messwerte dar.

Field Experiment 2012

In 2012, yellow mustard had the lowest T₉₀-value and required 33 days for 90% soil coverage. MELO, BETA and GPS showed T₉₀-values of 37 days, 39 days and 42 days, respectively, which were similar to yellow mustard (Fig. 2). Hemp needed 47 days for 90% soil coverage, which was the longest period of all cover crops. The PAR on the soil surface was reduced through yellow mustard, MELO, and BETA by more than 98% after a growing period of 52 days. The GPS mixture offered a higher PAR value than the other cover crop mixtures and reduced the PAR on the soil surface by 96%. The highest PAR value was measured in plots of hemp, where a PAR reduction of 91% occurred. In general, all cover crop treatments showed a good growth and produced a high amount of DM during the experiment. The highest DM was measured in plots of yellow mustard with 538 g m⁻², however, no difference to BETA could be detected. Hemp, the other monocultural

cover crop, produced a DM of 372 g m⁻², which was similar to MELO and BETA. The smallest DM amount was measured in plots with the GPS mixture that reached only a value of 234 g m⁻².

Growth of weeds was most effectively controlled by yellow mustard that could reduce weed DM by 98%. MELO and BETA had similar weed suppression and were able to reduce weed DM by more than 96%. Hemp and the GPS mixture offered a lower weed reduction compared with the other treatments and could reduce weed DM only by 85% and 79%. Over winter, all cover crop species died due to frost, except the species in the GPS mixture. In spring, weed DM was reduced by 98% in yellow mustard, which was the strongest weed suppression. Similar values to yellow mustard occurred in plots of MELO, BETA and GPS, where a weed reduction of 94%, 96% and 96% was measured, respectively. Lowest weed suppression among all treatments was observed in plots of hemp, with a weed DM reduction by 71%.

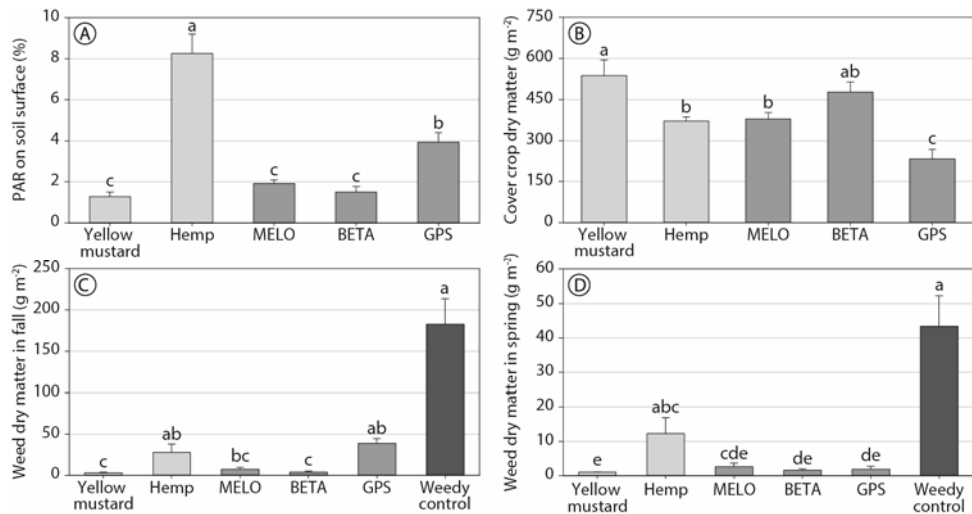


Fig. 2 Photosynthetically active radiation (PAR) (A), cover crop dry matter (B), weed dry matter in autumn (C) and weed dry matter in spring (D) at Kleinohenheim in 2012. Bars represent mean values ± standard deviation. Significant differences ($\alpha \leq 0.05$) are indicated by bars topped with different letters.

Abb. 2 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) (A), Trockenmasse der Zwischenfrüchte (B), Trockenmasse der Unkräuter im Herbst (C) sowie Trockenmasse der Unkräuter zu Vegetationsbeginn (D) am Standort Kleinohenheim im Jahr 2012. Mittelwerte mit demselben Buchstaben weisen bei einem Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0.05$ keine Unterschiede auf. Die Fehlerbalken stellen jeweils die Standardabweichung der Messwerte dar.

Discussion

Field experiment 2010 and 2011

Reason for the poor soil coverage and DM amount of the cover crop mixture compared to yellow mustard was probably the cold and rainy weather in 2010. The unfavorable weather conditions prevented good growth of tartary buckwheat and niger seed, which together had a 52% proportion of the entire plant density in the used mixture. For good growth, especially niger seed needs temperatures between 15 °C and 23 °C, which rarely occurred during autumn (GETINET and SHARMA, 1996). In comparison to niger seed and tartary buckwheat in the mixture, yellow mustard as a *Brassicacea* performed adequately even under cool weather conditions in autumn, which complies to earlier studies (BRENNAN and SMITH, 2005; KRUIDHOF *et al.*, 2008). While in 2010 the weather conditions limited growth of the cover crop mixture at IHO, growth conditions for cover crops were much better at both locations in the following year. While yellow mustard could take advantage of the good weather at MHO, similar soil coverage and growth as in the previous

growing season were observed at IHO. This observation was mainly caused by to the low N_{min} content that prevent higher dry matter production of yellow mustard at IHO. Although N_{min} content had only the half amount at IHO compared to MHO, soil coverage and dry matter production of the cover crop mixture was similar at both locations. This may have been caused the amount of 31% beerseem clover and 17% common vetch in the mixture. In contrast to niger seed and tartary buckwheat in the mixture, beerseem clover and common vetch showed no visual symptoms of nitrogen deficiencies, especially in later growth stages. A very likely reason for this could be the fact that beerseem clover and common vetch belong to the *Fabaceae* family that does not require high amounts of nitrogen from the soil due to their ability to fix atmospheric nitrogen by symbiosis with rhizobia. Therefore, inclusion of legumes into a cover crop mixture ensures good growth even under nitrogen-limited conditions (HEICHEL and HENJUM, 1991).

The reduced weed control of the mixtures in fall 2010 and at MHO in 2011 was mainly caused by a slow and poor soil coverage and DM production. Due to slow growth within the first few WAP in combination with a high weed pressure, the cover crop mixture was not able to stop weed growth. Reason for the high weed density in plots of the cover crop mixture in spring 2011 was the reduced growth and early death of niger seed and tartary buckwheat due to frost in autumn 2010. Caused by a reduced cover crop density, sunlight could again reach the soil surface, which enhance the growth of previously shaded weeds and promote further germination of weed seeds (BALLARÉ and CASAL, 2000). Although the cover crop mixture could only reduce weed DM to a low amount at MHO in autumn 2011, weed density was very small in spring. The main reasons for this were continued competition and shading by the cover crop mixture as well as the high frost tolerance of common vetch that leads to an active suppression of weeds until start of heavy frosts in winter.

Field Experiment 2012

Due to good growing conditions and adequate nitrogen availability, the soil coverage was mainly influenced by the specific leaf morphology and the plant density of the cover crop stand (UCHINO *et al.*; 2011). The lack of shading in the GPS plots was caused by the reduced shoot length of the plant species and additionally the steeper leave angle of rye and triticale (DIDON, 2002). The inadequate PAR reduction of hemp was mainly a result of reduced plant and leaf area density that was caused by an early switch into the generative growth stage due to the short day length in autumn (COSENTINO *et al.*, 2012). The high DM production of yellow mustard in the field experiment 2012, which was already observed during the first field experiment, is consistent with earlier results of DAUGOVISH *et al.* (2002) and BECKIE *et al.* (2008). Additionally, previous results indicate that yellow mustard is well adapted to autumn growing conditions and one of the fastest growing cover crop species if adequate amount of nitrogen is available (STIVERS-YOUNG, 1998). Only the BETA mixture offered similar growth to yellow mustard, probably because it included niger seed and tartary buckwheat that are both characterized by fast growth and high DM production (GETINET and SHARMA, 1996; CAMPBELL, 1997; HERRERA *et al.*, 2010). Hemp offered reduced DM allocation compared to yellow mustard due to its fast shift into generative growth stage that prevented continued production of leaves and a higher DM accumulation, as described by COSENTINO *et al.* (2012). The MELO mixture offered equal DM production as monocultural hemp, however, focus of this mixture is not the above but the below ground growth and DM production. Therefore the selection of the included plant species was based on a strong root growth and not on their shoot growth potential. Reason for the delayed DM production of the GPS mixture in autumn was the selection of the included plant species (rye, triticale, winter pea and hairy vetch) that all have their main growth period in spring.

The reduced weed control in plots of hemp and the GPS mixture are mainly a result of their low ability to reduce PAR under the cover crop canopy (BILALIS *et al.*, 2010). Especially the high PAR value in plots of hemp promoted the growth of weeds. The higher weed control of MELO and BETA compared with hemp indicates that fast soil coverage and intensive shading is more important for weed suppression than only a high DM production. These observations confirm

earlier results that emphasize a fast canopy closure and longtime intensive shading as the main factors for sustainable weed control by cover crops in autumn (UCHINO *et al.*, 2011). For fast, complete and longtime shading, an adapted and well-balanced cover crop mixture should be better suited than a monocultural cover crop due to different shoot height, leave morphologies and development rates of the included plant species. Because all included species are frost tolerant, the GPS mixture was able to reduce weed growth not only in autumn but also during the winter months and in early spring. Contrastingly to the GPS mixture, weeds in plots with hemp were able to regrow due to lack of competition and shading. Early death of frost sensitive cover crop species in autumn is a major problem for a continuous suppression of weeds until spring. If cover crops are killed during frosty nights in autumn, sunlight can reach the soil surface and promote the regrowth of already suppressed weeds or even the emergence of new weed seedlings (BALLARÉ and CASAL, 2000). Especially, monocultural cover crop stands with frost-sensitive cover crop species such as niger seed or tartary buckwheat can freeze early in autumn and then no further weed control is possible. However, the BETA mixture which includes niger seed and tartary buckwheat showed that a mixture of frost sensitive and frost tolerant plant species is able to control weed growth even after the death of frost sensitive plant species, if the proportion of frost tolerant species is not too low.

Conclusions

Cover crop mixtures have the ability to control weed growth like competitive monocultural cover crops. As a precondition for successful and sustainable weed suppression, however, cover crop mixtures should include fast growing plant species that early cover the soil surface, plant species with a long vegetative growth stage and frost tolerant plant species in an appropriate ratio.

References

- AKEMO, M. C., E. E. REGNIER and M. A. BENNETT, 2000: Weed suppression in spring-sown rye (*Secale cereale*)-pea (*Pisum sativum*) cover crop mixes. *Weed Technol.* **14** (3), 545-549.
- BALLARÉ, C. L. and J. J. CASAL, 2000: Light signals perceived by crop and weed plants. *Field Crop. Res.* **67** (2), 149-160.
- BECKE, H. J., E. N. JOHNSON, R. E. BLACKSHAW and G. YANTAI, 2008: Weed suppression by canola and mustard cultivars. *Weed Technol.* **22** (1), 182-185.
- BILALIS, D., P. PAPANASTASIOU, A. KONSTANTAS, S. PATSIALI, A. KARKANIS and A. EFTHIMIADOU, 2010: Weed-suppressive effects of maize-legume intercropping in organic farming. *Int. J. Pest Manage.* **56** (2), 173-181.
- BODNER, G., M. HIMMELBAUER, W. LOISKANDL and H. P. KAUL, 2010: Improved evaluation of cover crop species by growth and root factors. *Agron. Sustain. Dev.* **30** (2), 455-464.
- BRENNAN, E. B. and R. F. SMITH, 2005: Winter cover crop growth and weed suppression on the central coast of California. *Weed Technol.* **19** (4), 1017-1024.
- CAMPBELL, C. G., 1997: Buckwheat. *Fagopyrum esculentum* Moench. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome, International Plant Genetic Resources Institute, 93.
- COSENTINO, S. L., G. TESTA, D. SCORDIA and V. COPANI, 2012: Sowing time and prediction of flowering of different hemp (*Cannabis sativa* L.) genotypes in southern Europe. *Ind. Crop Prod.* **37** (1), 20-33.
- DAUGOVISH, O., D. C. THILL and B. SHAFII, 2003: Modeling competition between wild oat (*Avena fatua* L.) and yellow mustard or canola. *Weed Sci.* **51** (1), 102-109.
- DIDON, U. M. E., 2002: Variation between barley cultivars in early response to weed competition. *J. Agron. Crop Sci.* **188** (3), 176-184.
- DING, G. W., X. LIU, S. HERBERT, J. NOVAK, D. AMARASIRIWARDENA and B. XING, 2006: Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma* **130** (3-4), 229-239.
- GETINET, A. and A. M. SHARMA, 1996: Niger, *Guizotia abyssinica* (L. F.) Cass. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome, International Plant Genetic Resources Institute, 59.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS and E. S. JENSEN, 2001: Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crop. Res.* **70** (2), 101-109.
- HEICHEL, G. H. and K. I. HENJUM, 1991: Dinitrogen fixation, nitrogen transfer, and productivity of forage legume-grass communities. *Crop Sci.* **31** (1), 202-208.
- HERRERA, J. M., B. FEIL, P. STAMP and M. LIEDEGENS, 2010: Root growth and nitrate-nitrogen leaching of catch crops following spring wheat. *J. Environ. Quality* **39** (3), 845-854.
- HOOKE, K. V., C. E. COXON, R. HACKETT, L. E. KIRWAN, E. O'KEEFE and K. G. RICHARDS, 2008: Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland. *J. Environ. Quality* **37** (1), 138-145.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

- KASPAR, T. C., D. B. JAYNES, T. B. PARKIN, T. B. MOORMAN and J. W. SINGER, 2012: Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water. *Agr. Water Manage.* **110**, 25-33.
- KRUIDHOF, H. M., L. BASTIAANS and M. J. KROPPF, 2008: Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed Res.* **48** (6), 492-502.
- LITHOURGIDIS, A. S., C. A. DORDAS, C. A. DAMALAS and D. N. VLACHOSTERGIOS, 2011: Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Aust. J. Crop Sci.* **5** (4), 396-410.
- LOGSDON, S. D., T. C. KASPAR, D. W. MEEK and J. H. PRUEGER, 2002: Nitrate leaching as influenced by cover crops in large soil monoliths. *Agron. J.* **94** (4), 807-814.
- MALÉZIEUX, E., Y. CROZAT, C. DUPRAZ, M. LAURANS, D. MAKOWSKI, H. OZIER-LAFONTAINE, B. RAPIDEL, S. de TOURDONNET and M. VALANTIN-MORISON, 2009: Mixing Plant Species in Cropping Systems: Concepts, Tools and Models: A Review. *Agron. Sustain. Dev.* **29** (1), 43-62.
- MORRIS, R. A. and D. P. GARRITY, 1993: Resource capture and utilization in intercropping: water. *Field Crop. Res.* **34** (3-4), 303-317.
- POTTER, T. L., D. D. BOSCH, H. JOO, B. SCHAFFER and R. MUÑOZ-CARPENA, 2007: Summer cover crops reduce atrazine leaching to shallow groundwater in Southern Florida. *J. Environ. Quality* **36** (5), 1301-1309.
- R CORE TEAM, 2013: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RITZ, C. and J. C. STREIBIG, 2005: Bioassay analysis using R. *J. Stat. Softw.* **12** (5), 1-22.
- SPEHN, E. M., J. JOSHI, B. SCHMID, M. DIEMER and C. KÖRNER, 2000: Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems. *Funct. Ecol.* **14** (3), 326-337.
- STIVERS-YOUNG, L., 1998: Growth, nitrogen accumulation, and weed suppression by fall cover crops following early harvest of vegetables. *HortScience* **33** (1), 60-63.
- TILLMAN, G., H. SCHOMBERG, S.PHATAK, B. MULLINIX, S. LACHNIGHT, P. TIMPER and D. OLSON, 2004: Influence of cover crops on insect pests and predators in conservation tillage cotton. *J. Econ. Entomol.* **97** (4), 1217-1232.
- UCHINO, H., K. IWAMA, Y. JITSUYAMA, K. ICHIYAMA, E. SUGIURA and T. YUDATE, 2011: Stable characteristics of cover crops for weed suppression in organic farming systems. *Plant Prod. Sci.* **14** (1), 75-85.

Untersuchungen zur Unkrautunterdrückung in Rein- und Mischfruchtbeständen von Wintererbsen unterschiedlichen Wuchstyps

Investigations on the weed suppression in sole and intercropped stands of winter peas of contrasting growth habit

Annkathrin Gronle*¹ und Herwart Böhm²

¹ Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen, Deutschland

² Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland

*Korrespondierender Autor, gronle@uni-kassel.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.054

Zusammenfassung

Derzeit stehen normalblättrige, langwüchsige und halbblattlose, kurzwüchsige Wintererbsen-Sorten kommerziell zur Verfügung. Das Unkrautauftreten in Erbsenbeständen wird sowohl durch den Erbsenwuchstyp als auch durch das Anbausystem beeinflusst. Die Zusammensetzung von Gemengen normalblättriger oder halbblattloser Wintererbsen und Getreide muss verbessert werden, um eine gute Unkrautunterdrückung mit einer hohen Ertragsleistung zu kombinieren. Aus diesem Grund sind mehr Erkenntnisse über das Unkrautunterdrückungs-Potential von normalblättrigen und halbblattlosen Wintererbsen-Getreide-Gemengen und den dafür zu Grunde liegenden Faktoren notwendig. Dazu wurden die normalblättrige Wintererbsen-Sorte E.F.B. 33 und die halbblattlose Sorte James in Reinsaat und in einem Gemenge mit Triticale (40 keimfähige Körner Wintererbsen + 150 keimfähige Körner Triticale/m²) in Feldversuchen in Norddeutschland in den Jahren 2009/10 und 2010/11 angebaut. Im Jahr 2011/12 wurden sechs Gemengezusammensetzungen jeder Wintererbsen-Sorte (20, 40 oder 60 keimfähige Körner Wintererbsen + 150 oder 75 keimfähige Körner Triticale/m²) untersucht und mit den entsprechenden Wintererbsen-Reinsaaten verglichen. Normalblättrige Wintererbsen wiesen ein besseres Unkrautunterdrückungs-Potential als halbblattlose Wintererbsen auf. Der Gemengeanbau von halbblattlosen Wintererbsen und Triticale hat zu einer effektiven Reduzierung des Unkrautauftretens geführt, wohingegen das Unkrautauftreten in den Beständen normalblättriger Wintererbsen vergleichbar zwischen den Anbausystemen oder signifikant geringer im Gemenge war. Die Gemenge mit einer hohen Triticale-Saatstärke unterdrückten die Unkräuter in höherem Maße als die Gemenge mit einer geringen Triticale-Saatstärke. Eine geringere Transmission der photosynthetisch aktiven Strahlung zum Unkrautbestand konnte als Ursache für eine bessere Unkrautunterdrückung identifiziert werden, während die Konkurrenz zwischen den Kulturpflanzen und den Unkräutern um Stickstoff oder Wasser die Unterschiede im Unkrautunterdrückungs-Potential zwischen den Erbsenwuchstypen oder den Anbausystemen nicht ausreichend erklären konnte.

Stichwörter: Halbblattlos, Konkurrenz, normalblättrig, photosynthetisch aktive Strahlung, Triticale

Abstract

Currently, normal-leaved long-vined and semi-leafless short-vined winter pea cultivars are available commercially. The weed infestation in pea crop stands is affected by both pea growth habit and cropping system. Intercrop compositions of normal-leaved or semi-leafless winter peas and cereals have to be improved in order to combine good weed suppression with high yield performance. Therefore, more knowledge on the weed suppressive ability of normal-leaved and semi-leafless winter pea-cereal intercrops and the underlying factors is needed. In 2009/10 and 2010/11, the normal-leaved winter pea cv. E.F.B. 33 and the semi-leafless cv. James were grown as sole crops and in an intercrop with triticale (40 germinable kernels winter peas + 150 germinable kernels triticale m⁻²) in field experiments in Northern Germany. Six intercrop compositions of each winter pea cultivar (20, 40 or 60 germinable kernels winter peas + 150 or 75 germinable kernels triticale m²) were examined in 2011/12 and compared to the respective winter pea sole crops. Normal-leaved winter peas had a better weed suppressive ability than semi-leafless winter peas. Intercropping was effective in reducing a weed infestation in semi-leafless pea crop stands, whereas the weed infestation in normal-leaved pea crop stands was comparable between cropping systems or significantly lower in the intercrop. Intercrops with a high triticale sowing density suppressed weeds to a higher extent than those with a low triticale sowing density. The underlying factor of a better weed suppression was a lower PAR transmission to the weed canopy level, whereas a crop-weed competition for nitrogen or water did not sufficiently explain differences in the weed suppressive ability between pea growth habits or cropping systems.

Keywords: Competition, normal-leafed, photosynthetically active radiation, semi-leafless, triticale

Einleitung

Probleme im Anbau mit Sommererbsen, wie etwa eine hohe Ertragsinstabilität, haben zu einem steigenden Interesse am Anbau von Wintererbsen im ökologischen Landbau geführt. Derzeit sind normalblättrige, langwüchsige und halbblattlose, kurzwüchsige Wintererbsen-Sorten verfügbar. Erbsen gelten als schwach Unkraut unterdrückende Kulturen, wobei normalblättrige Erbsen über ein besseres Unkrautunterdrückungs-Potential verfügen als halbblattlose Erbsensorten (SPIES *et al.*, 2011). Ein Mischfruchtanbau mit Nichtleguminosen verbessert die Standfestigkeit bei normalblättrigen Wintererbsen (URBATZKA *et al.*, 2011) und verhindert damit eine starke Spätverunkrautung der lagernden Erbsenbestände. Bei halbblattlosen Erbsen fördert ein Mischfruchtanbau das Unkrautunterdrückungs-Potential (BEGNA *et al.*, 2011; CORRE-HELLOU *et al.*, 2011), was insbesondere bei kurzwüchsigen Sorten an Standorten mit einem hohen Unkrautdruck von großer Bedeutung sein kann. Die Mischungsverhältnisse von halbblattlosen bzw. normalblättrigen Wintererbsen und Nichtleguminosen müssen dahingegen optimiert werden, dass sie einerseits eine gute Unkrautunterdrückung ermöglichen und andererseits eine gute Ertragsleistung gewährleisten. Ziel dieser Untersuchung war es daher, den Einfluss des Erbsenwuchstyps und des Anbausystems auf das Unkrautunterdrückungs-Potential festzustellen und zu untersuchen, ob eine stärkere Konkurrenz um Wasser, Stickstoff und/oder Licht zwischen den Kulturpflanzen und den Unkräutern in den Gemengebeständen für eine möglicherweise unterschiedliche Unkrautunterdrückung verantwortlich ist.

Material und Methoden

Am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau wurden in den Jahren 2009/10, 2010/11 und 2011/12 Versuche zum Rein- und Mischfruchtanbau von Wintererbsen mit Triticale unter ökologischen Anbaubedingungen durchgeführt. Die Versuche beinhalteten die Faktoren Erbsenwuchstyp und Anbausystem. Dabei wurde als Faktor Erbsenwuchstyp die normalblättrige, langwüchsige Wintererbsen-Sorten E.F.B. 33 und die halbblattlose, kurzwüchsige Wintererbsen-Sorte James untersucht. Der Faktor Anbausystem bestand in den ersten beiden Versuchsjahren aus einer Wintererbsen-Reinsaat (WFE-RS, 80 keimfähige Körner/m²) und einem Gemenge mit Triticale bestehend aus 40 keimfähigen Körnern Wintererbse und 150 keimfähigen Körnern Triticale/m² (WFE-TR3). Der Faktor Anbausystem wurde im Versuchsjahr 2011/12 zur Optimierung der Mischungsverhältnisse auf sechs unterschiedliche Saatstärkenverhältnisse erweitert und mit den entsprechenden Wintererbsen-Reinsaaten verglichen (Tab. 1). Der Gemengeanbau erfolgte als gemischte Saat mit einem Reihenabstand von 12,5 cm. Die Versuche waren als randomisierte vollständige Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Es erfolgten keine direkten Unkrautkontrollmaßnahmen. Die dominierenden Unkrautarten waren im Jahr 2009/10 *Lamium purpureum* L. und *Stellaria media* (L.) Vill., wohingegen im zweiten Versuchsjahr *Galium aparine* L. die häufigste Unkrautart war. Im Versuchsjahr 2011/12 dominierte *Vicia hirsuta* (L.) Gray.

In allen Versuchen wurde der gesamte Deckungsgrad der Unkräuter im Frühjahr in fünfmal einem halben Quadratmeter pro Parzelle ermittelt. Die oberirdische Kulturpflanzen- und Unkrautbiomasse wurde zur Blüte der Wintererbsen auf einem halben Quadratmeter pro Parzelle erhoben. Zur Reife der Kulturpflanzen erfolgte in allen Parzellen auf einer Fläche von einem Quadratmeter eine erneute Beerntung der Unkrautbiomasse. Bei den Probenahmen der Unkrautbiomasse wurde die Frischmasse und die Trockenmasse erfasst, um den Trockenmassegehalt der Unkräuter bestimmen zu können. Die bei 60 °C getrocknete Unkrautbiomasse wurde auf 0,5 mm vermahlen und anschließend auf den Stickstoff-Gehalt analysiert. Ab Beginn des Wintererbsen-Längenwachstums wurden im wöchentlichen Rhythmus parallel Messungen der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) oberhalb des Kulturpflanzenbestandes und auf Höhe des Unkrautbestandes mit Hilfe eines SS1-SunScan Canopy Analysis Systems durchgeführt. Dabei erfolgten jeweils fünf Messungen pro Parzelle quer

zur Saatrichtung. Anschließend wurde der zum Unkrautbestand transmittierte Anteil der photosynthetisch aktiven Strahlung errechnet.

Die statistische Auswertung erfolgte varianzanalytisch mit der Prozedur Mixed in SAS 9.2. Den Varianzanalysen folgten multiple Mittelwertvergleiche mit Hilfe des Tukey-Kramer-Tests. Die PAR-Messungen erfolgten in ungleichen Zeitintervallen. Daher wurde hier eine Analyse mit ungleichen Messwiederholungen durchgeführt (LITTELL *et al.*, 2006).

Tab. 1 Untersuchte Saatstärken von Wintererbsen und Triticale im Versuchsjahr 2011/12.

Tab. 1 Examined sowing densities of winter peas and triticale in 2011/12.

Anbausystem	Saatstärken (keimfähige Körner/m ²)		
	Wintererbsen	Triticale	Abkürzung
Wintererbsen-Reinsaat	80	0	WFE-RS
Wintererbsen-Triticale-Gemenge 1	60	150	WFE-TR1
Wintererbsen-Triticale-Gemenge 2	60	75	WFE-TR2
Wintererbsen-Triticale-Gemenge 3	40	150	WFE-TR3
Wintererbsen-Triticale-Gemenge 4	40	75	WFE-TR4
Wintererbsen-Triticale-Gemenge 5	20	150	WFE-TR5
Wintererbsen-Triticale-Gemenge 6	20	75	WFE-TR6

Ergebnisse

Das Anbausystem hat den Unkrautdeckungsgrad im Frühjahr in allen Versuchsjahren signifikant beeinflusst. Dabei führte ein Anbau der Wintererbsen im Gemenge mit Triticale zu einem signifikant geringeren Unkrautdeckungsgrad (2009/10: 39 %, 2010/11: 7 %, 2011/12: 12-17 %) im Vergleich zum Anbau in Reinsaat (2009/10: 49 %, 2010/11: 17 %, 2011/12: 26 %). Zwischen den unterschiedlichen Gemengevarianten konnte dabei kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der Erbsenwuchstyp hatte lediglich im Jahr 2009/10 einen signifikanten Einfluss auf den Unkrautdeckungsgrad im Frühjahr, wobei der Anbau der halbblattlosen Wintererbse zu signifikant höheren Werten (49 %) im Vergleich zum normalblättrigen Wuchstyp (39 %) führte.

Die Auswertung der Daten der Unkrautbiomasse zur Blüte und zur Reife der Kulturpflanzen ergab im Versuchsjahr 2009/10 ausschließlich einen signifikanten Einfluss der Hauptfaktoren Erbsenwuchstyp und Anbausystem. Das Unkrautauftreten war an beiden Probenahmeterminen vergleichbar (Blüte: 36,8 g TM/m², Reife: 30,9 g TM/m²). Unabhängig vom Probenahmetermin führte ein Anbau der Wintererbsen in Reinsaat (47,3 g TM/m²) zu einer signifikant höheren Unkrautbiomasse im Vergleich zum Anbau im Gemenge mit Triticale (20,3 g TM/m²). Gleichzeitig wies der normalblättrige Erbsenwuchstyp mit 7,1 g TM/m² eine signifikant geringere Unkrautbiomasse als der halbblattlose Wuchstyp (60,5 g TM/m²) auf.

Im Versuchsjahr 2010/11 wurde die Unkrautbiomasse von einer signifikanten Dreifach-Wechselwirkung von Probenahmetermin × Erbsenwuchstyp × Anbausystem beeinflusst. Ein Anbau der Wintererbsen im Gemenge führte zu einem signifikant geringeren Unkrautauftreten, mit Ausnahme des normalblättrigen Wuchstyps zum Reifezeitpunkt (Tab. 2). Das Unkrautauftreten lag in den Reinsaaten des normalblättrigen Wuchstyps immer signifikant unter dem des halbblattlosen Wuchstyps, wohingegen im Gemenge kein signifikanter Unterschied zwischen den Erbsenwuchstypen festzustellen war.

Tab. 2 Unkrautbiomasse zur Blüte und Reife der Erbsen in Abhängigkeit des Erbsenwuchstyps und des Anbausystems im Versuchsjahr 2010/11 (Mittelwerte ± SEM). Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P < 0.05$) zwischen dem Anbausystem innerhalb desselben Erbsenwuchstyps und Probenahmetermins. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Erbsenwuchstypen innerhalb desselben Anbausystems und Probenahmetermins.

Tab. 2 Weed biomass at pea flowering and maturity as affected by pea growth habit and cropping system in 2010/11 (means ± SEM). Different capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between cropping systems within the same growth habit and sampling date. Different lower case letters denote significant differences between pea growth habits within the same cropping system and sampling date.

Probenahmetermin	Erbsenwuchstyp	Anbausystem	Unkrautbiomasse (g TM/m ²)
Blüte	normalblättrig	WFE-RS	85,9 ± 10,1 Ab
		WFE-TR3	47,4 ± 4,3 Ba
	halbblatlos	WFE-RS	186,3 ± 21,2 Aa
		WFE-TR3	37,1 ± 5,3 Ba
Reife	normalblättrig	WFE-RS	21,1 ± 9,6 Ab
		WFE-TR3	25,1 ± 9,6 Aa
	halbblatlos	WFE-RS	202,3 ± 20,2 Aa
		WFE-TR3	35,5 ± 6,6 Ba

Die Unkrautbiomasse des Versuchsjahres 2011/12 wurde von signifikanten Zweifachwechselwirkungen (Probenahmetermin × Erbsenwuchstyp, Probenahmetermin × Anbausystem) beeinflusst. Zur Blüte der Erbsen wiesen die Wintererbsen-Reinsaaten das höchste Unkrautbiomasseaufkommen aller Varianten auf, wobei keine signifikanten Unterschiede zu den Varianten WFE-TR4 und WFE-TR6 vorhanden waren (Abb. 1).

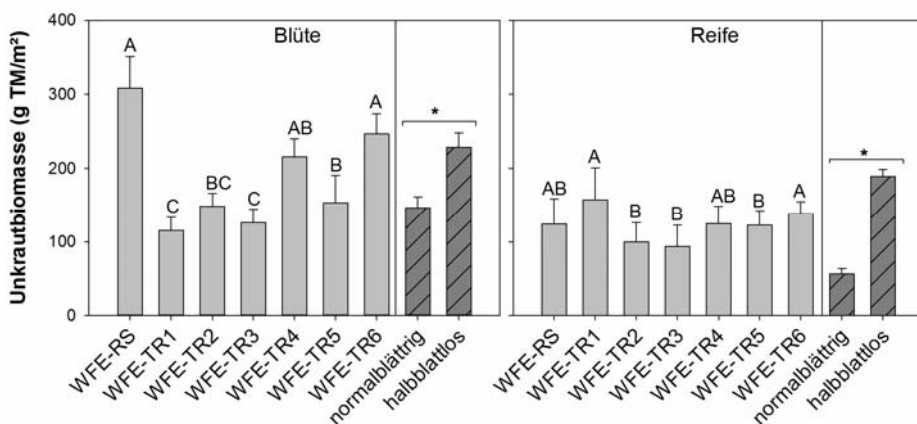


Abb. 1 Unkrautbiomasse (Mittelwerte ± SEM) zur Blüte und Reife der Erbsen in Abhängigkeit des Anbausystems und des Erbsenwuchstyps in 2011/12. Unterschiedliche Buchstaben oder Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P < 0.05$).

Fig. 1 Weed biomass (means ± SEM) at pea flowering and maturity as affected by pea cropping system and growth habit in 2011/12. Different letters or asterisks indicate significant differences ($P < 0.05$).

Die Gemengevarianten mit der höheren Triticale-Saatstärke führten zu einer deutlich geringeren Unkrautbiomasse im Vergleich zu den Varianten mit einer Triticale-Saatstärke von 75 Körner/m² bei gleicher Wintererbsen-Saatstärke, wobei dieser Effekt mit abnehmender Wintererbsen-

Saatstärke an Bedeutung zunahm. Zur Reife der Kulturpflanzen waren keine signifikanten Unterschiede im Unkrautauflkommen zwischen dem Anbau in Reinsaat und den unterschiedlichen Gemengen vorhanden. Die Variante WFE-TR3 war die Variante mit dem geringsten Unkrautauflkommen zur Blüte und zur Reife der Erbsen. Der halbblattlose Erbsenwuchstyp führte an beiden Probenahmetermen zu einem signifikant höheren Unkrautauflkommen im Vergleich zum normalblättrigen Wuchstyp. Während das Unkrautauflkommen zur Reife bei der normalblättrigen Wintererbse signifikant unter dem Wert zur Blüte lag, kam es beim halbblattlosen Wuchstyp nicht zu einer Reduzierung des Unkrautauflkommens hin zur Reife.

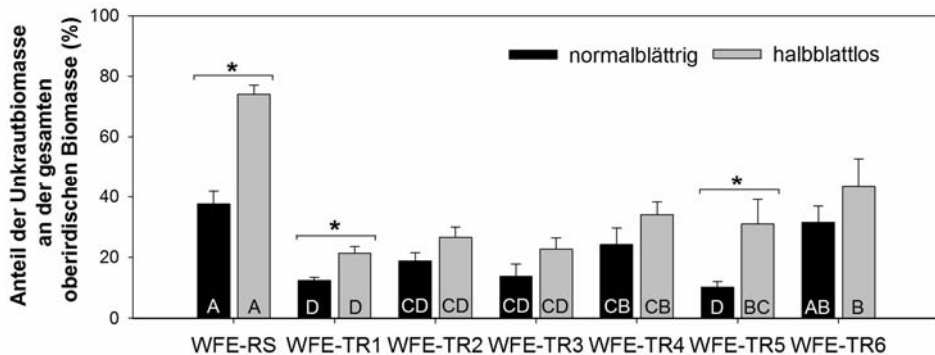


Abb. 2 Anteil der Unkrautbiomasse an der gesamten oberirdischen Biomasse zur Blüte der Erbsen in Reinsaat und Gemenge von normalblättrigen und halbblattlosen Wintererbsen im Versuchsjahr 2011/12 (Mittelwerte \pm SEM). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P < 0.05$) zwischen den Anbausystemen innerhalb desgleichen Erbsenwuchstyps, während Sternchen signifikante Unterschiede zwischen den Erbsenwuchstypen innerhalb desselben Anbausystems kennzeichnen.

Fig. 2 Proportion of weed biomass in total aboveground biomass at pea flowering in sole and intercrops of normal-leaved and semi-leafless winter peas in 2011/12 (means \pm SEM). Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between cropping systems within the same pea growth habit. Asterisks indicate significant differences between pea growth habits within the same cropping system.

Der Anteil der Unkrautbiomasse an der gesamten oberirdischen Biomasse war in den Parzellen der normalblättrigen Wintererbse in den Versuchsjahren 2009/10 und 2010/11 signifikant geringer als beim halbblattlosen Wuchstyp, wobei beim Anbau der Wintererbsen im Gemenge im Jahr 2010/11 kein signifikanter Unterschied zwischen den Erbsenwuchstypen festzustellen war. Ein Anbau des normalblättrigen Wuchstypes im Gemenge mit Triticale (2009/10: 1,0 %, 2010/11: 6,1 %) führte in den ersten beiden Versuchsjahren nicht zu einer signifikanten Reduzierung des Anteils der Unkrautbiomasse an der gesamten oberirdischen Biomasse im Vergleich zur Reinsaat (2009/10: 1,7 %, 2010/11: 14,2 %). Beim halbblattlosen Wuchstyp führte der Gemengeanbau hingegen in den ersten beiden Versuchsjahren zu signifikant geringeren Werten (2009/10: 8,4 %, 2010/11: 4,9 %) im Vergleich zur Reinsaat mit 21,0 % (2009/10) und 14,2 % (2010/11).

Im Versuchsjahr 2011/12 lag der Anteil der Unkrautbiomasse an der gesamten oberirdischen Biomasse zur Blüte der Erbsen deutlich über dem Niveau der Vorjahre und erreichte mit 74,0 % in der Reinsaat des halbblattlosen Wuchstyps den Maximalwert (Abb. 2). Bei beiden Wuchstypen wiesen die Reinsaat signifikant höhere Werte als die Gemenge auf, wobei beim normalblättrigen Wuchstyp die Variante WFE-TR6 nur in der Tendenz einen geringeren Unkrautbiomasseanteil zeigte. Der halbblattlose Wuchstyp führte in allen Varianten zu einem höheren Anteil der Unkrautbiomasse im Vergleich zum normalblättrigen Wuchstyp, wobei dieser lediglich in der Reinsaat und den Gemengevarianten WFE-TR1 und WFE-TR5 signifikant ausfiel. Die höhere Triticale-Saatstärke führte zu einem tendenziell oder signifikant geringeren Unkrautbiomasseanteil im Vergleich zur Triticale-Saatstärke mit 75 Körner/m² bei gleicher Wintererbsen-Saatstärke.

Der N-Gehalt der Unkrautbiomasse wurde in den ersten beiden Versuchsjahren von einer signifikanten Wechselwirkung des Anbausystems und des Erbsenwuchstyps beeinflusst. Ein Anbau des normalblättrigen Erbsenwuchstyps in Reinsaat führte zu einem N-Gehalt in der Unkrautbiomasse von 2,19 % (2009/10) und 2,14 % (2010/11) und damit zu signifikant höheren Werten im Vergleich zum Gemenge mit 1,77 % (2009/10) und 1,72 % (2010/11). Keine signifikanten Unterschiede wurden hingegen beim Anbau des halbblattlosen Wuchstyps zwischen der Reinsaat (2009/10: 1,44 %, 2010/11: 1,37 %) und dem Gemenge (2009/10: 1,45 %, 2010/11: 1,35 %) festgestellt. Der N-Gehalt der Unkrautbiomasse lag beim normalblättrigen Wuchstyp unabhängig vom Anbausystem signifikant unter dem Niveau des halbblattlosen Wuchstyps. Im Versuchsjahr 2011/12 konnte weder ein Einfluss des Erbsenwuchstyps noch des Anbausystems auf die Höhe des N-Gehalts der Unkrautbiomasse nachgewiesen werden.

Die Unkrautbiomasse wies in allen Versuchsjahren in Parzellen des normalblättrigen Wuchstyps einen signifikant geringeren Trockenmassegehalt (2009/10: 21,3 %, 2010/11: 18,5 %, 2011/12: 23,3 %) im Vergleich zum halbblattlosen Wuchstyp (2009/10: 32,8 %, 2010/11: 23,1 %, 2011/12: 27,7 %) auf. Das Anbausystem hatte 2009/10 und 2011/12 keine Auswirkungen auf die Höhe des Unkrautbiomasse-Trockenmassegehaltes, wohingegen 2010/11 im Gemenge mit 23,9 % signifikant höhere Trockenmasse-Gehalte vorlagen im Vergleich zur Reinsaat mit 17,9 %.

Tab. 3 PAR-Transmission zum Unkrautbestand in Reinsaaten (WFE-RS) und Gemenge (WFE-TR3) der normalblättrigen und halbblattlosen Wintererbse in den Versuchsjahren 2009/10 und 2010/11. Mittelwerte innerhalb derselben Zeile und desselben Versuchsjahres mit unterschiedlichen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P < 0.05$).

Tab. 3 PAR transmission to the weed canopy level in sole and intercrops of the normal-leafed and the semi-leafless winter pea in 2009/10 and 2010/11. Means on the same line within the same experimental year with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

2009/10					2010/11				
Datum	normalblättrig		halbblattlos		Datum	normalblättrig		halbblattlos	
	WFE-RS	WFE-TR3	WFE-RS	WFE-TR3		WFE-RS	WFE-TR3	WFE-RS	WFE-TR3
22.4	79,5 c	78,8 c	91,5 a	86,8 b	18.4	84,5 a	76,8 b	88,5 a	77,4 b
2.5	39,6 d	51,5 c	79,8 a	72,5 b	25.4	67,2 a	57,5 b	71,8 a	57,9 b
11.5	16,7 d	28,9 c	65,9 a	55,1 b	2.5	51,2 b	41,8 b	62,6 a	44,1 b
17.5	8,2 d	15,9 c	57,5 a	45,4 b	6.5	49,6 b	46,4 b	61,9 a	50,6 b
25.5	5,8 b	8,0 b	39,5 a	38,9 a	11.5	34,3 b	34,4 b	54,3 a	38,0 b
2.6	6,2 c	7,1 c	28,7 b	34,6 a	19.5	17,8 c	25,0 b c	46,1 a	32,1 b
9.6	6,1 c	3,9 c	14,7 b	20,1 a	25.5	5,6 c	16,8 b	32,4 a	22,1 b
16.6	9,5 c	7,0 c	19,5 b	25,8 a	1.6	4,5 c	25,2 b	36,3 a	34,4 a
25.6	6,6 c	4,9 c	12,4 b	18,0 a	7.6	2,3 c	12,7 b	27,5 a	20,0 a
					12.6	4,0 c	20,4 b	34,5 a	33,3 a
					20.6	12,5 c	25,0 b	40,7 a	29,7 b

Der Anteil der photosynthetisch aktiven Strahlung, der zum Unkrautbestand transmittiert wird, lag im Versuchsjahr 2009/10 in den Parzellen mit dem normalblättrigen Erbsenwuchstyp zu allen Messterminen signifikant unter dem der Parzellen mit dem halbblattlosen Wuchstyp (Tab. 3). Der Gemengeanbau führte beim normalblättrigen Wuchstyp von Anfang bis Mitte Mai und beim halbblattlosen Wuchstyp bis Ende Mai zu einer signifikant geringeren PAR-Transmission. Ansonsten waren keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Anbau in Reinsaat und dem Anbau im Gemenge vorhanden. Zu Beginn der Messungen im April 2011 (Versuchsjahr 2010/11) waren keine Unterschiede zwischen den Erbsenwuchstypen festzustellen, wobei die PAR-

Transmission zum Unkrautbestand in den Reinsaaten unabhängig vom Wuchstyp signifikant höher war als im Gemenge. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode wies die PAR-Transmission beim Reinsaat-Anbau des halbblattlosen Wuchstyps die höchsten Werte aller Varianten und damit an den meisten Terminen signifikant höhere Werte als das entsprechende Gemenge auf. Der Gemengeanbau des normalblättrigen Wuchstyps resultierte ab Mitte Mai in der geringsten PAR-Transmission aller Varianten, wobei signifikant geringere Werte als im Gemenge vorlagen.

Im Versuchsjahr 2011/12 ergab die statistische Auswertung sowohl eine signifikante Messtermin \times Erbsenwuchstyp- als auch eine signifikante Messtermin \times Anbausystem-Wechselwirkung. Unabhängig vom Erbsenwuchstyp wiesen die Wintererbsen-Reinsaaten bis Ende Mai signifikant höhere PAR-Transmissions-Werte auf als die Wintererbsen-Triticale-Gemenge (Abb. 3). Während dieser Periode transmittierten die Gemenge mit hoher Triticale-Saatstärke weniger PAR-Strahlung zum Unkrautbestand im Vergleich zu den Gemengen mit geringer Triticale-Saatstärke, wobei sich die Variante WFE-TR1 als die Variante mit der geringsten PAR-Transmission erwies. Ab Ende Mai waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Anbausystemen mehr festzustellen. Die PAR-Transmission zum Unkrautbestand fiel bis Ende April bei beiden Wuchstypen vergleichbar aus (Abb. 3). Ab Anfang Mai wurden in Parzellen des normalblättrigen Wuchstyps signifikant geringere Werte im Vergleich zum halbblattlosen Wuchstyp gemessen.

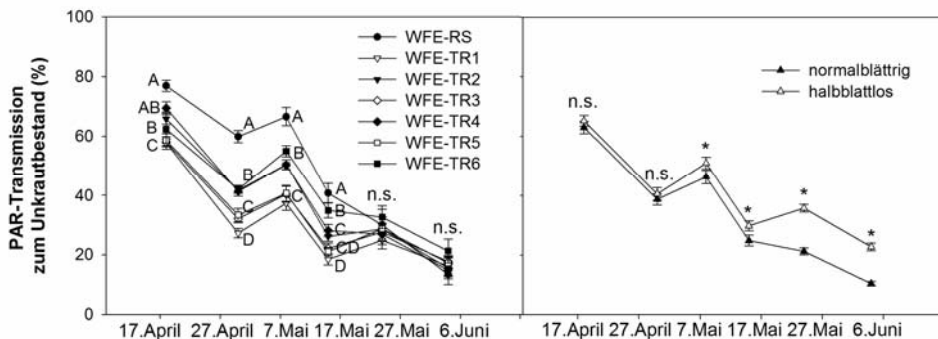


Abb. 3 PAR-Transmission zum Unkrautbestand (Mittelwerte \pm SEM) in Abhängigkeit der Versuchsfaktoren Anbausystem (links) und Erbsenwuchstyp (rechts) im Versuchsjahr 2011/12. Unterschiedliche Buchstaben oder Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede am gleichen Messtermin ($P < 0.05$). n.s.: nicht signifikant.

Fig. 3 PAR transmission to the weed canopy level (means \pm SEM) as affected by cropping system (left) and pea growth habit (right) in 2011/12. Different letters or asterisks indicate significant differences ($P < 0.05$) at the same measurement date. n.s.: non-significant.

Diskussion

Der Anbau des halbblattlosen, kurzwüchsigen Erbsenwuchstyps führte in allen Versuchsjahren zu einer signifikant höheren Unkrautbiomasse und einem höheren Anteil der Unkrautbiomasse an der gesamten oberirdischen Biomasse im Vergleich zum normalblättrigen, langwüchsigen Wuchstyp beim Anbau in Reinsaat. Das bessere Unkrautunterdrückungs-Potential von den normalblättrigen Erbsenwuchstypen im Vergleich zu den halbblattlosen Wuchstypen stimmt damit mit den Erkenntnissen anderer Autoren überein (URBATZKA, 2010; SPIES *et al.*, 2011; URBATZKA *et al.*, 2011). Zu Vegetationsbeginn im Frühjahr war in den Reinsaaten lediglich im Versuchsjahr 2009/10 ein höherer Unkrautdeckungsgrad in den Parzellen des halbblattlosen Wuchstyps feststellbar. Während im Versuchsjahr 2009/10 bereits vor dem Winter ein hoher Unkrautdruck insbesondere von *Stellaria media* (L.) Vill. und *Lamium purpureum* L. festzustellen war, nahm in den beiden anderen Versuchsjahren der Unkrautdruck durch *Galium aparine* L. (2010/11) und *Vicia hirsuta* (L.) Gray (2011/12) ab Mitte Mai an Bedeutung zu. Dadurch erklärt sich auch der nicht signifikante Unterschied des Unkrautdeckungsgrades zwischen den Erbsenwuchstypen im Jahr

2009/10. Die Unkrautbiomasse und der Unkrautbiomasseanteil lagen beim halbblattlosen Wuchstyp auch im Gemenge über den Werten des normalblättrigen Wuchstyps. Das im Jahr 2010/11 geprüfte Gemenge von Wintererbsen und Triticale ergab allerdings in der Tendenz höhere Werte für den normalblättrigen Wuchstyp hinsichtlich der Unkrautbiomasse zur Blüte und zur Reife der Erbsen (Tab. 2) sowie des Anteils der Unkrautbiomasse an der gesamten oberirdischen Biomasse zur Blüte der Erbsen. Eine frühzeitige Frühjahrstrockenheit führte in diesem Versuchsjahr zu einer starken Unterdrückung der Wintererbsen durch den Gemengepartner Triticale und damit zu Triticale-dominierten Gemengen. Davon betroffen war aufgrund der höheren Biomasseproduktion insbesondere der normalblättrige Wuchstyp, was die etwas höhere Verunkrautung im Gemenge erklären kann.

Der Gemengeanbau führte unabhängig vom Erbsenwuchstyp in allen Versuchsjahren zu einem signifikant geringeren Unkrautdeckungsgrad zum Zeitpunkt der Blüte der Erbsen. In den ersten beiden Versuchsjahren 2009/10 und 2010/11 lagen die Unkrautbiomasse und der Anteil der Unkrautbiomasse an der gesamten oberirdischen Biomasse in den Gemengen des halbblattlosen Wuchstyps signifikant oder tendenziell unter den Werten der Reinsaatbestände. Dies steht in Übereinstimmung mit Ergebnissen anderer Autoren zum Gemengeanbau von halbblattlosen Erbsen und Getreidepartnern (HAUGGAARD-NIELSEN *et al.*, 2001; POGGIO, 2005; CORRE-HELLOU *et al.*, 2011). Beim normalblättrigen Wuchstyp führte der Gemengeanbau in den ersten beiden Versuchsjahren lediglich im Jahr 2010/11 zu einer signifikanten Reduzierung der Unkrautbiomasse zur Blüte der Erbsen. Ansonsten lagen bei diesem Wuchstyp keine signifikanten Unterschiede zur Reinsaat vor. Im Versuchsjahr 2011/12 hingegen führte der Gemengeanbau unabhängig vom Erbsenwuchstyp zu einem tendenziell oder signifikant geringeren Unkrautauftreten (Abb. 1, 2). Eine besonders effiziente Unkrautunterdrückung zeigten dabei die Gemenge mit höherer Triticale-Saatstärke, wobei der Unterschied zu den Gemengen mit geringer Triticale-Saatstärke mit abnehmender Saatstärke der Erbse zunahm. Dies zeigt die Bedeutung des Gemengepartners Triticale für das Unkrautunterdrückungs-Potential von Gemengebeständen. Zur Reife konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Anbau in Reinsaat und im Gemenge bei beiden Erbsenwuchstypen festgestellt werden (Abb. 2). Dies ist vermutlich auf den hohen Unkrautdruck mit *Vicia hirsuta* am Standort zurückzuführen, der durch den Gemengepartner Triticale nicht mehr in ausreichendem Maße unterdrückt werden konnte. Die Triticale wies im Jahr 2011/12 mit 26,7 % signifikant höhere Auswinterungsraten als die Wintererbsen auf. Dies hatte lückige Triticale-Bestände zur Folge und hat dazu geführt, dass die im Versuch ebenfalls enthaltenen Triticale-Reinsaaten hinsichtlich des Unkrautauftretens vergleichbar mit den Wintererbsen-Reinsaaten waren. Beim halbblattlosen Erbsenwuchstyp führte ein Gemengeanbau damit zu einer Reduzierung des Unkrautauftretens, während beim normalblättrigen Wuchstyp aufgrund des insgesamt schon geringen Unkrautniveaus an Standorten mit geringem Unkrautdruck kein Unterschied zwischen Reinsaat und Gemenge festgestellt werden konnte. Mit zunehmendem Unkrautdruck am Standort wurde allerdings auch beim normalblättrigen Wuchstyp eine bessere Unkrautunterdrückung durch den Gemengeanbau erreicht.

Die Transmission der photosynthetisch aktiven Strahlung zum Unkrautbestand lag beim normalblättrigen Wuchstyp signifikant über dem Niveau der Bestände mit dem halbblattlosen Wuchstyp (Tab. 3, Abb. 3), wobei dieser Effekt mit zunehmender Pflanzenentwicklung an Bedeutung zunahm. Daher kommt die stärkere Beschattung des Unkrautbestandes als eine Ursache für das bessere Unkrautunterdrückungs-Potential eines normalblättrigen Wuchstyps in Frage. Eine stärkere Konkurrenz zwischen den Kulturpflanzen und den Unkräutern beim normalblättrigen Wuchstyp um Wasser oder Stickstoff und dadurch bedingt eine geringere Verunkrautung im Vergleich zum halbblattlosen Wuchstyp scheint aufgrund signifikant höherer N-Gehalte und geringerer Trockenmassegehalte der Unkrautbiomasse nicht ursächlich für das unterschiedliche Unkrautunterdrückungs-Potential der Erbsenwuchstypen zu sein.

Der N-Gehalt der Unkrautbiomasse lag in der Reinsaat und in den Gemengen des halbblattlosen Wuchstyps in allen Versuchsjahren auf vergleichbarem Niveau. Beim normalblättrigen

Erbsenwuchstyp führte der Anbau im Gemenge, trotz eines oftmals vergleichbaren Unkrautauftommens, hingegen zu einem signifikant geringeren Unkraut-N-Gehalt in den ersten beiden Versuchsjahren. In 2011/12 hatte keiner der Faktoren einen signifikanten Einfluss auf den N-Gehalt der Unkräuter. Die Konkurrenz um Stickstoff erklärt die Unkrautunterdrückung im Gemenge daher nicht ausreichend. Nach Angaben von CORRE-HELLOU *et al.* (2011) ist bei einer hohen Boden-N-Verfügbarkeit die Lichtkonkurrenz zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern von entscheidender Bedeutung für die Unkrautunterdrückung im Gemengeanbau von Sommererbsen und Gerste, während es bei einer geringen Verfügbarkeit die Konkurrenz um Stickstoff ist. Die PAR-Transmission lag in allen Versuchsjahren in den Wintererbsen-Triticale-Gemengen bis Ende Mai/Anfang Juni mehrheitlich signifikant unterhalb der Werte der entsprechenden Wintererbsen-Reinsaaten. Danach führte der Gemengeanbau im Vergleich zu den Reinsaaten allerdings zu vergleichbaren oder höheren PAR-Transmissionen. Dies bestätigt die Ergebnisse von KIMPEL-FREUND *et al.* (1998) für den Gemengeanbau von Sommererbsen und Hafer und ist ein Hinweis darauf, dass ein geringeres Unkrautauftommen in Gemengebeständen zumindest zur Blüte durch eine stärkere Lichtkonkurrenz im Gemenge erklärt werden kann. Von den untersuchten Mischungsverhältnissen im Jahr 2011/12 lag die PAR-Transmission in den Gemengen mit geringer Triticale-Saatstärke signifikant oder tendenziell über den Werten der Gemenge mit der hohen Triticale-Saatstärke, wohingegen die unterschiedlichen Erbsen-Anteile bei gleicher Triticale-Saatstärke mehrheitlich nicht zu signifikanten Unterschieden geführt haben. Mit Ausnahme des Jahres 2010/11 lagen auch keine signifikanten Unterschiede des Trockenmasse-Gehalts der Unkrautbiomasse zwischen dem Anbau in Reinsaat und im Gemenge vor. Somit kommt lediglich 2010/11 eine stärkere Wasserkonkurrenz zwischen den Gemengepartnern als Ursache für ein geringeres Unkrautauftommen in Frage, was mit den Ergebnissen für Sommererbsen-Gersten-Gemenge übereinstimmt (MOHLER und LIEBMAN, 1987).

Die normalblättrigen Wuchstypen der Wintererbsen waren in der Lage Unkräuter besser zu unterdrücken als halbblattlose Wuchstypen. Ein Anbau von Wintererbsen im Gemenge führte zu einer deutlichen Verbesserung der Unkrautunterdrückung, insbesondere beim Anbau von halbblattlosen Erbsenwuchstypen. Bei normalblättrigen Wuchstypen reduzierte ein Gemengeanbau das Unkrautauftommen in den insgesamt wenig verunkrauteten Beständen oft nicht. Aufgrund der Stützwirkung der Triticale und der damit verbundenen besseren Beerntbarkeit, ist ein Gemengeanbau von normalblättrigen Wintererbsen allerdings von entscheidender Bedeutung für das Erreichen einer guten Ertragsleistung. Eine geringere PAR-Transmission zum Unkrautbestand war ein grundlegender Faktor, der zu einer besseren Unkrautunterdrückung von Gemengen und von normalblättrigen Erbsenwuchstypen beigetragen hat. Die Konkurrenz zwischen den Kulturpflanzen und den Unkräutern um Stickstoff und/oder Wasser konnte das unterschiedliche Unkrautunterdrückungs-Potential von verschiedenen Anbausystemen und verschiedenen Wuchstypen der Erbse nicht ausreichend erklären.

Danksagung

Die Untersuchung wurde im Rahmen des Projektes "Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebauter Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit" durchgeführt, das im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) gefördert wird.

Literatur

- BEGNA, S., D.J. FIELDING, T. TSEGAYE, R. VAN VELDHIJZEN, S. ANGADI und D.L. SMITH, 2011: Intercropping of oat and field pea in Alaska: an alternative approach to quality forage production and weed control. *Acta Agr Scand B-S P* **61**, 235-244.
- CORRE-HELLOU, G., A. DIBET, H. HAUGGAARD-NIELSEN, Y. CROZAT, M. GOODING, P. AMBUS, C. DAHLMANN, P. VON FRAGSTEIN, A. PRISTERI, M. MONTI und E.S. JENSEN, 2011: The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crop Res.* **122**, 264-272.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS und E.S. JENSEN, 2001: Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crop Res.* **70**, 101-109.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

- KIMPEL-FREUND, H., K. SCHMIDTKE und R. RAUBER, 1998: Einfluss von Erbsen (*Pisum sativum* L.) mit unterschiedlichen morphologischen Merkmalen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer (*Avena sativa* L.) auf die Konkurrenz gegenüber Unkräutern. *Pflanzenbauwissenschaften* **2**, 25-36.
- LITTELL, R.C., G.A. MILLIKEN, W.W. STROUP, R.D. WOLFINGER und O. SCHABENBERGER, 2006: SAS for mixed models. Cary, SAS Institute Inc., 840 S.
- MOHLER, C.L. und M. LIEBMAN, 1987: Weed productivity and composition in sole crops and intercrops of barley and field pea. *J. Appl. Ecol.* **24**, 495-502.
- POGGIO, S.L., 2005: Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agr. Ecosyst. Environ.* **109**, 48-58.
- SPIES, J.M., T.D. WARKENTIN und R.S. SHIRTLIFFE, 2011: Variation in field pea (*Pisum sativum*) cultivars for basal branching and weed competition. *Weed Science* **59**, 218-223.
- URBATZKA, P., 2010: Anbauwürdigkeit von Wintererbsen – Ein Vergleich zu Sommererbsen in Rein- und Gemengesaat unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Dissertation, Universität Kassel-Witzenhausen, Hamburg, Dr. Kovac, 334 S.
- URBATZKA, P., R. GRAB, T. HAASE, C. SCHÜLER, D. TRAUTZ und J. HEB, 2011: Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Org. Agr.* **1**, 187-202.

Effekte von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung auf die Segetalflora im Ökologischen Landbau

Effects of crop rotation and soil tillage on weeds in organic farming

Franz Schulz*¹ und Günter Leithold¹

¹Justus-Liebig-Universität Gießen, Professur für Organischen Landbau, Karl-Glöckner-Str. 21C, 35394 Gießen, Deutschland

*Korrespondierender Autor, Franz.Schulz@agr.uni-giessen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.055

Zusammenfassung

Auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb für Ökologischen Landbau der Universität Gießen, Gladbacherhof, wird seit 1998 ein zweifaktorieller Dauerfeldversuch durchgeführt. Es werden die Auswirkungen von 3 verschiedenen Betriebstypen (mit Viehhaltung, viehlos mit Grünbrache, viehlos nur Marktfrüchte) und 4 Bodenbearbeitungssystemen (Konventioneller Pflug, Zweischichtenpflug, reduzierte Bearbeitungstiefe und pfluglos) auf die Kulturpflanzen, den Boden und die Umwelt untersucht. In diesem Beitrag werden Ergebnisse zu Beikraut-Deckungsgraden, dem Artenspektrum der Ackerbegleitflora, dem Auftreten von *Cirsium arvense* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) und der Beikraut-Phytomasse zur Ernte der Hauptfrüchte vorgestellt. Es kann festgehalten werden, dass, verglichen mit konventionellen „Schadsschwellen“, der Beikraut-Deckungsgrad in der Regel gering und das Artenspektrum eng waren. Aufgrund von intensiven mechanischen Regulierungsmaßnahmen wirkt sich die Segetalflora kaum negativ auf die Kulturpflanzenerträge aus. Bei viehlosem Ökolandbau ohne Luzerngras in der Fruchtfolge kann es aber zu Problemen mit *C. arvense* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) kommen. Dagegen scheint dieses ausdauernde Wurzelunkraut im pfluglosen Bodenbearbeitungssystem auf lange Sicht nicht zu Schwierigkeiten zu führen. Die Stetigkeit von Beikrautarten wie *Galium aparine* L. (Klettenlabkraut) und *Stellaria media* L. (Vogel-Sternmiere) ist in allen Versuchsvarianten hoch. Mit keinem der Betriebs- oder Bodenbearbeitungssysteme gelang es jedoch seltene Arten zu fördern bzw. die Biodiversität deutlich zu erhöhen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssten spezielle Fördermaßnahmen ergriffen werden.

Stichwörter: Artenspektrum, Beikrautdeckungsgrad, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Ökologischer Landbau, Segetalflora

Abstract

An organic long-term field experiment with two factors has been carried out since 1998 at the experimental station Gladbacherhof, University of Giessen. Effects of 3 different farm types (with livestock raising, stockless farming with rotational set-aside, stockless farming only cash crops) combined with 4 tillage treatments (mouldboard plough, two-layer-plough, reduced tillage depth and tillage without plough) on plants, soil and environment have been investigated. This article presents results on the coverage rate of arable wild plants (weed coverage), the range of weed species, the abundance of *C. arvense* (L.) Scop. (Canada thistle) and the weed phytomass during harvest time of the main crops dependent on farm type and soil tillage. It can be concluded that, compared to conventional economic weed thresholds, the weed coverage was generally relatively low and only limited ranges of species were found. Wild arable plants probably did not have any impact on yields of the cultivated plants due to intensive mechanical regulatory measures. In stockless organic farming without alfalfa-grass in the crop rotation *Cirsium arvense* (L.) Scop. (Canada thistle) might become a problem whereas this perennial root-weed does not seem to raise a long term problem in a soil tillage system without ploughing. In all treatments the abundance of weeds like *Galium aparine* L. (catchweed bedstraw) and *Stellaria media* L. (chickweed) was high. However, none of the farm types or soil tillage systems succeeded in providing evidence of promoting rare species or encouraging biodiversity. In order to achieve this special support measures should be implemented.

Keywords: Crop rotation, organic farming, range of species, segetal flora, soil tillage, weed coverage

Einleitung

Im Zuge der Bemühungen um eine hohe Diversität von Flora und Fauna, auch in den Agrarökosystemen, kommt der Segetalflora eine besondere Bedeutung zu. Einerseits können Ackerwildkräuter wegen zahlreicher Vorteile in gewissem Umfang erwünscht sein. Andererseits

stehen sie in Konkurrenz um Wachstumsfaktoren mit den Kulturpflanzen. Angesichts des generellen Herbizidverbots laut der EU-Bioverordnung und den Richtlinien der Ökoverbände sind Biobetriebe bei Maßnahmen zur Regulierung der Ackerbegleitflora vor besondere Herausforderungen gestellt. Bedeutende Stellgrößen in Bezug auf die Segetalvegetation sind die Fruchtfolgegestaltung und die Bodenbearbeitung.

Im Jahr 1998 wurde auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb für Ökologischen Landbau der Universität Gießen, Gladbacherhof, ein zweifaktorieller Dauerfeldversuch mit 3 verschiedenen Betriebssystemen/Fruchtfolgen und 4 unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten angelegt. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Auswirkungen dieser beiden Faktoren auf die Ackerwildkräuter gelegt. In diesem Beitrag sollen insbesondere die Ergebnisse der Beikrautdeckungsgrade, das Artenspektrum der Begleitflora, das Auftreten von *Cirsium arvense* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) und die oberirdische Phytomasse der Beikräuter zur Ernte der Hauptfrüchte beschrieben werden.

Material und Methoden

Der Versuchsstandort befindet sich in Villmar an der Lahn an den nordwestlichen Ausläufern des Taunus auf 170 m ü. NN (mittlere Lufttemperatur: 9,5 °C, durchschnittlicher Niederschlag p. a.: 649 mm, Bodentyp: Pararendzina bis erodierte Parabraunerde, Bodenart: schluffiger Lehm bis lehmiger Schluff, Ackerzahl: 66). Als Versuchsdesign wurde eine Spaltanlage in vierfacher Wiederholung mit dem Großparzellenfaktor Betriebssysteme und einer Kleinparzellengröße von 9 m x 14 m gewählt. In Tabelle 1 sind die jeweils sechsfeldrigen Fruchtfolgen der 3 Betriebssysteme dargestellt. Somit beträgt der Getreideanteil in allen 3 Betriebssystemen 50 %, der Hackfruchtanteil 16,7 %. Die Leguminosen umfassen jeweils einen Anteil von 33,3 %, aber in Gestalt von unterschiedlichen Arten und Bewirtschaftungsformen. Nach den Winterungen Weizen und Roggen wurden Zwischenfrüchte angebaut bzw. im System mit Viehhaltung eine Untersaat im Roggen zur Etablierung des anschließenden legumen Futterbaugemenges. Im System Gemischtbetrieb wurden im Durchschnitt 100 dt ha⁻¹ Rottemist pro Jahr gedüngt. Dies entspricht einem Viehbesatz von 1,0 GV ha⁻¹. In beiden viehlosen Systemen verblieben sämtliche Koppelprodukte auf den Flächen. Die Gestaltung der 1. Rotation unterschied sich nur unwesentlich von der 2. Rotation. Mechanische Beikrautregulierungsmaßnahmen wurden praxisüblich in den Getreidebeständen einmal im Frühjahr mit Striegel, bei den Körnerleguminosen mehrmals mit Hacke und Striegel und in den Kartoffeln mehrmals mit Häufelgeräten durchgeführt. Vor diesen mechanischen Maßnahmen wurden, wenn es sinnvoll erschien, der Beikrautdeckungsgrad und das Artenspektrum mit Göttinger Zähl- und Schätzrahmen (Fläche 0,1 m²) an 4 Bereichen der Parzellen bestimmt. Das Auftreten von *C. arvense* (L.) Scop. wurde im Juni und die oberirdische Phytomasse der Beikräuter zur Ernte der Hauptfrüchte erhoben. Die varianzanalytischen Berechnungen und die multiplen Mittelwertvergleiche wurden mit dem Programmpaket SAS, Version 9.1.3, durchgeführt. Die Einzelheiten zur Methodik und zur Fruchtfolgegestaltung in der 1. Rotation sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben (SCHULZ, 2012).

In Tabelle 2 wird der zweite Versuchsfaktor, d.h. die verschiedenen Systeme der Grundbodenbearbeitung, näher erläutert. Der Kontrollvariante P30, dem konventionellen, auf Krumentiefe wendenden Pflug, werden Systeme mit abnehmender Eingriffsintensität bis hin zur pfluglosen Variante SR30/15 gegenüber gestellt.

Tab. 1 Fruchtfolgegestaltung in der 2. Rotation 2004 – 2009.*Tab. 1* Design of the crop rotations in the 2nd rotation 2004 – 2009.

Fruchtfolgefeld	Jahr	GM-V (Gemischtbetrieb mit Viehhaltung)	VL-GB (Viehloser mit Grünbrache)	Betrieb	VL-MF (Viehloser nur Marktfrüchte)	Betrieb
1	2004	Luzerne-Kleegras	Hafer		Hafer	
2	2005	Luzerne-Kleegras	Grünbrache (Luzerne-Kleegras)		Ackerbohnen	
3	2006	Winterweizen I	Winterweizen		Winterweizen	
4	2007	Kartoffeln	Kartoffeln		Kartoffeln	
5	2008	Winterweizen II	Körnererbsen		Körnererbsen	
6	2009	Winterroggen	Winterroggen		Winterroggen	

Tab. 2 Beschreibung der Bodenbearbeitungssysteme.*Tab. 2* Description of the systems of soil tillage.

	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
	Krumentiefe Bearbeitung mit dem Pflug	Regelmäßig Zweischichtenpflug	Max. Bearbeitungstiefe 15 cm mit dem Pflug	Regelmäßig Schichtengrubber + Rotoregge
Stoppelbearbeitung	Grubber 15 cm	Zweischichtenpflug 30/15 cm	Grubber oder Pflug 15 cm	Schichtengrubber + Rotoregge 30/15 cm
Herbstbearbeitung	Pflug 30 cm	Pflug 15 cm	Pflug 15 cm	Rotoregge 15 cm

Ergebnisse

Bei den Erhebungen der Beikraut-Deckungsgrade im Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch Gladbacherhof wurde von einer Unterscheidung in mono- und dikotyle Kräuter abgesehen, da zu den Boniturterminen bis auf einige Exemplare von *Apera spica-venti* L. (Gemeiner Windhalm) nur Dicotyledoneae auftraten. In denjenigen Jahren mit unterschiedlichen Hauptfrüchten in den 3 Fruchtfolgen konnten jeweils nur die beiden Betriebssysteme mit den gleichen Früchten für eine zweifaktorielle Auswertung zusammengefasst werden. Beim Vergleich der Betriebssysteme (in Tabelle 3 nicht dargestellt) wurde lediglich im Jahr 2009 in Winterroggen ein signifikanter Unterschied, d.h. ein höherer Beikraut-Deckungsgrad im Gemischtbetrieb GM-V als in beiden viehlosen Systemen, ermittelt.

Hinsichtlich der Bodenbearbeitungsvarianten sind die Ergebnisse der Deckungsgrade in Tabelle 3 jeweils als Summe aller Wildkräuter wiedergegeben. Zunächst fällt das allgemein niedrige Niveau des Deckungsgrades auf. In 2005 (Ackerbohnen) und in 2008 (Winterweizen) ergaben sich keine nachweislichen Unterschiede. Dagegen wies das System Zweischichtenpflug ZP30/15 in 2004 (Hafer) einen signifikant höheren Beikraut-Deckungsgrad als P30 auf. In den Jahren 2006 (Winterweizen) und 2009 (Winterroggen) wurden die signifikant höchsten Werte in der pfluglosen Variante SR30/15 gefunden, allerdings in beiden Jahren auf sehr niedrigem Niveau.

Tab. 3 Beikraut-Deckungsgrad (%) im Frühjahr vor mechanischen Regulierungsmaßnahmen in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung.

Tab. 3 Coverage of weeds (%) in spring before mechanical regulatory measures dependent on the systems of soil tillage.

Jahr	Betriebssysteme	Hauptfrüchte Anbaujahr	im	Bodenbearbeitungssysteme			
				P30	ZP30/15	P15	SR30/15
2004	GM-V	Luzerne-Kleegras		Erhebung nicht sinnvoll			
	VL-GB + VL-MF	Hafer		3,83 b	6,41 a	5,67 ab	5,58 ab
2005	GM-V + VL-GB	Luzerne-Kleegras		Erhebung nicht sinnvoll			
	VL-MF	Ackerbohnen		1,65 a	3,88 a	2,63 a	2,63 a
2006	GM-V + VL-GB + VL-MF	Winterweizen		0,15 b	0,59 b	0,17 b	2,97 a
2007	GM-V + VL-GB + VL-MF	Kartoffeln		Erhebung nicht sinnvoll			
2008	GM-V	Winterweizen		4,19 a	5,44 a	4,69 a	7,09 a
	VL-GB + VL-MF	Erbsen		Erhebung nicht sinnvoll			
2009	GM-V + VL-GB + VL-MF	Winterroggen		1,39 b	1,89 b	1,77 b	3,42 a

Innerhalb der Zeilen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

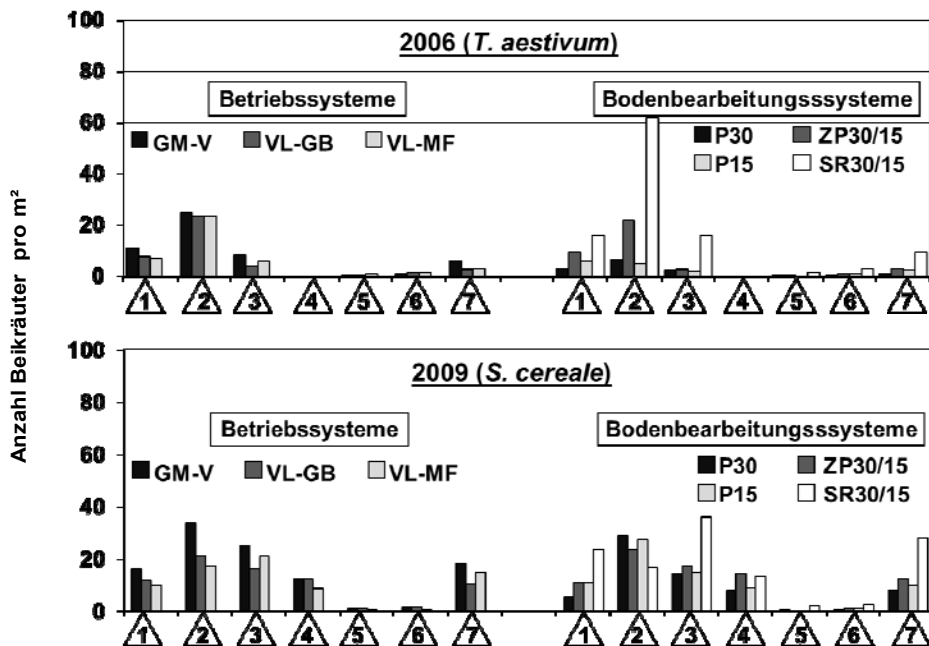
Im Rahmen des Dauerfeldversuchs Gladbacherhof geht es bezüglich des Beikraut-Artenspektrums im Frühjahr nicht um eine detaillierte herbologische Pflanzenaufnahme. Es soll vielmehr der Aspekt des Auftretens von Leit- oder Problemunkräutern dargelegt werden. Auch soll geprüft werden, ob vermehrt unerwünschte Wildkräuter, wie z. B. giftige Arten, vorkommen.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse der beiden Jahre 2006 und 2009 beispielhaft aufgeführt. In diesen Jahren stand in allen 3 Betriebssystemen jeweils die gleiche Feldfrucht. Somit ist ein Vergleich aller Betriebs- und Bodenbearbeitungssysteme möglich. Die 6 häufigsten Arten sind separat aufgeführt, alle weiterhin gefundenen Arten sind unter „Sonstige“ zusammengefasst.

Bei allen Boniturterminen und in sämtlichen Varianten lagen die ermittelten Werte für *Galium aparine* L. (Klettenlabkraut) um ein mehrfaches über den sogenannten „Schadsschwellen“ wie sie für den konventionellen Landbau definiert worden sind (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2011; GERHARDS, 2010).

Im Jahr 2006 war die Gesamtanzahl der Beikräuter unter Winterweizen mit durchschnittlich 43,5 Stück pro m² relativ gering. Aus einer großen Spannweite von 225 resultierte eine vergleichsweise hohe Standardabweichung von 52,0. Es traten die beiden Arten *Galium aparine* L. (Klettenlabkraut) und *Stellaria media* L. (Vogel-Sternmiere) ohne bedeutende Unterschiede zwischen den

Betriebssystemen hervor. Hinsichtlich der Bodenbearbeitungssysteme wurde für alle Beikrautarten mit deutlichen Unterschieden der jeweils höchste Wert bei der pfluglosen Variante SR30/15 gefunden.



GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung
 VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache
 VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte
 P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug
 ZP30/15 = Zweischichtenpflug
 P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm
 SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

- △1 = *Galium aparine* L. (Klettenlabkraut)
- △2 = *Stellaria media* L. (Vogelmiere)
- △3 = *Veronica persica* Poir. (Pers. Ehrenpreis)
- △4 = *Capsella bursa-pastoris* L. (Gemeines Hirtentäschel)
- △5 = *Lamium purpureum* L. (Rote Taubnessel)
- △6 = *Matricaria maritima* L. (Geruchl. Kamille)
- △7 = Sonstige

Abb. 1 Anzahl der verschiedenen Beikräuter (m^{-2}) in den Jahren 2006 und 2009 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.

Fig. 1 Abundance of the different weeds (m^{-2}) in the years 2006 and 2009 dependent on farm type and soil tillage.

Im Jahr 2009 lag die durchschnittliche Gesamtanzahl an Beikräutern mit 85,3 Stück pro m^2 unter Winterroggen fast doppelt so hoch wie 2006. Hier betrug die Spannweite 135, die Standardabweichung des Mittelwerts 34,5. Neben den bereits 2006 vorherrschenden beiden Arten wurden weiterhin *Veronica persica* Poir. (Persischer Ehrenpreis), *Capsella bursa-pastoris* L. (Gemeines Hirtentäschel) und „Sonstige“ in nennenswertem Umfang bonitiert. Bei den Betriebssystemen ist eine leichte Tendenz der höchsten Werte jeweils bei GM-V festzustellen.

Bei den Bodenbearbeitungssystemen wies die pfluglose Variante SR30/15 besonders in den folgenden Kategorien mit Abstand die höchsten Werte auf: *G. aparine* L., *V. persica* Poir et und „Sonstige“.

Aufgrund der großen Bedeutung von *C. arvense* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) wurde das Auftreten dieses Beikrauts separat erfasst. In Tabelle 4 ist der oberirdische Phytomasseanfall jeweils im Juni aufgeführt. In den Kulturen Luzerne-Klee gras, Kartoffeln und Winterweizen 2008 waren Erhebungen aus unterschiedlichen Gründen nicht sinnvoll. Häufig auftretende Nullwerte schränken die Aussagekraft statistischer Parameter ein. Zudem konnten große Unterschiede der Mittelwerte häufig nicht als signifikant ausgewiesen werden.

Bezüglich der Betriebssysteme (nicht dargestellt) traten hohe Mittelwerte im Jahr 2004 in den beiden viehlosen Betriebssystemen und im Jahr 2009 besonders in VL-MF auf. Während *C. arvense* (L.) Scop. im System GM-V schon in der 1. Rotation kaum auftrat, hat sich der Besatz im viehlosen System VL-MF gegenüber VL-GB in der 2. Rotation weiterhin erhöht.

Tab. 4 Oberirdische Phytomasse von *C. arvense* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) [kg TM ha⁻¹] in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung.

Tab. 4 Aboveground phytomass of *C. arvense* (L.) Scop. (Canada thistle) [kg DM ha⁻¹] dependent on the systems of soil tillage.

Jahr	Betriebssysteme	Hauptfrüchte Anbaujahr	Bodenbearbeitungssysteme			
			im P30	ZP30/15	P15	SR30/15
2004	GM-V	Luzerne-Klee gras	Erhebung nicht sinnvoll			
	VL-GB + VL-MF	Hafer	94,3 ab	27,2 b	49,7 b	330 a
2005	GM-V + VL-GB	Luzerne-Klee gras	Erhebung nicht sinnvoll			
	VL-MF	Ackerbohnen	22,1 a	3,69 a	5,37 a	55,6 a
2006	GM-V + VL-GB + VL-MF	Winterweizen	0,0169 a	0,0035 a	0,0030 a	0,0049 a
2007	GM-V + VL-GB + VL-MF	Kartoffeln	Erhebung nicht sinnvoll			
2008	GM-V	Winterweizen	Erhebung nicht sinnvoll			
	VL-GB + VL-MF	Erbsen	9,96 a	12,2 a	10,6 a	7,36 a
2009	GM-V + VL-GB + VL-MF	Winterroggen	26,4 a	17,9 a	12,3 a	28,8 a

Innerhalb der Zeilen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoreggee

Im Hinblick auf die Bodenbearbeitungssysteme (Tab. 4) konnten aufgrund der zahlreichen Nullwerte lediglich im Jahr 2004 signifikante Unterschiede, und zwar der höchste Besatz in SR30/15, festgestellt werden (nicht signifikant gegenüber P30). Zum Ende der 1. Rotation wurde

ein verstärktes Auftreten von *C. arvensis* (L.) Scop. im pfluglosen System SR30/15 ermittelt. Dagegen konnte dieser Anstieg in der 2. Rotation nicht bestätigt werden. Vielmehr fallen relativ hohe Werte für P30 auf, insbesondere gegenüber ZP30/15 und P15. Dies ist bemerkenswert, weil in der 1. Rotation für P30 stets niedrige Werte ermittelt wurden.

Tab. 5 Phytomasse von Beikräutern im Luzerne-Kleegras und im Stroh der Druschfrüchte (dt TM ha⁻¹) und die Wuchshöhe der Spätverunkrautung in Kartoffeln (cm) in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung.

Tab. 5 Phytomass of the weeds (dt DM ha⁻¹) in alfalfa-grass and in the straw of grain crops and height of late weed infestation in potatoes (cm) dependent on the systems of soil tillage.

Jahr	Betriebssysteme	Hauptfrüchte Anbaujahr	im	Bodenbearbeitungssysteme			
				P30	ZP30/15	P15	SR30/15
2004	GM-V	Luzerne-Kleegras		2,35 a	2,48 a	3,28 a	2,74 a
	VL-GB + VL-MF	Hafer		0,20 ab	0,49 a	0,14 b	0,44 ab
2005	GM-V + VL-GB	Luzerne-Kleegras		2,11 a	2,06 a	1,85 a	1,77 a
	VL-MF	Ackerbohnen		0,42 a	1,28 a	0,33 a	0,44 a
2006	GM-V + VL-GB + VL-MF	Winterweizen 1)	GM-V	0,05 b	0,62 b	0,26 b	1,51 a
			VL-GB	0,09 b	0,54 b	0,21 b	1,51 a
			VL-MF	0,49 a	1,32 a	0,12 a	0,32 a
2007	GM-V + VL-GB + VL-MF	Kartoffeln		24,8 a	24,1 a	24,7 a	24,4 a
2008	GM-V	Winterweizen		0,09 a	0,11 a	0,18 a	0,24 a
	VL-GB + VL-MF	Erbsen		6,20 b	9,45 a	8,66 ab	10,5 a
2009	GM-V + VL-GB + VL-MF	Winterroggen 1)	GM-V	0,22 ab	0,10 b	0,23 ab	0,51 a
			VL-GB	0,06 a	0,05 a	0,17 a	0,81 a
			VL-MF	0,69 a	1,28 a	0,45 a	0,23 a

1) Signifikante Wechselwirkungen Betriebssystem x Bodenbearbeitungssystem

Innerhalb der Zeilen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Die beschriebenen Parameter Deckungsgrad und Artenspektrum der Begleitflora charakterisieren die Konkurrenzwirkung der Beikräuter auf die Kulturpflanzen in einem relativ frühen Wachstumsstadium. Dagegen erlaubt die Menge an oberirdischer Phytomasse der Beikräuter zum Erntezeitpunkt der Hauptfrüchte Rückschlüsse zu den Konkurrenzbeziehungen, besonders in späteren Wachstumsphasen. Dabei kann der Beikrautanteil im Getreide- und Körnerleguminosenstroh als ein sehr aussagekräftiger Konkurrenzindikator angesehen werden, weil besonders die hochwachsenden Beikräuter mit einem großen Massenwachstum erfasst werden. In Tab. 5 sind die oberirdischen Phytomassen der Segetalflora im Luzerne-Klee gras und im Stroh der Druschfrüchte aufgeführt. Die Spätverunkrautung in Kartoffeln ist in Form der Wuchshöhe erfasst.

Neben den dargestellten absoluten Beikrautmassen sind die Anteile am Gesamtertrag bei Luzerne-Klee gras bzw. die Anteile am Strohertrag bedeutend.

Die Beikrautanteile im Luzerne-Klee gras im Jahr 2004 betragen mit 2,35 bis 3,28 dt TM ha⁻¹ bzw. 1,77 bis 2,11 dt TM ha⁻¹ im Jahr 2005 lediglich 1,8 % respektive 1,9 % vom Gesamtertrag. Diese sehr geringen Mengen sind kaum als nachteilig für die Ertragsbildung zu bewerten. Auch im Stroh des Winterweizens 2008 (0,09 bis 0,24 dt TM ha⁻¹) mit durchschnittlich 0,3 % und des Winterroggens 2009 (0,05 bis 1,28 dt TM ha⁻¹) mit durchschnittlich 0,7 % am Gesamtstrohertrag wurden nur wenige Begleitpflanzen registriert. Die Spätverunkrautung in 2007 übte insofern keinen Einfluss auf die Ertragsbildung der Kartoffeln aus, da der Kulturpflanzenbestand aufgrund feuchter Witterung schon in der ersten Julidekade abgestorben war.

Deutlich höhere Wildkrautanteile wurden lediglich im Jahr 2008 in der Sommerung Erbse (6,20 bis 10,5 dt TM ha⁻¹) mit durchschnittlich 33,3 % am Gesamtstrohertrag ermittelt. Hinsichtlich der Betriebssysteme ergab sich 2004 im Hafer eine signifikant höhere Beikrautmasse im reinen Marktfruchtssystem VL-MF als in VL-GB (nicht dargestellt). Bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten wurde im gleichen Jahr in ZP30/15 mehr Wildkrautmasse als in P15 festgestellt. In 2006 wurden bei signifikanten Wechselwirkungen zwischen Betriebssystem und Bodenbearbeitung in GM-V und VL-GB jeweils die höchsten Werte in der pfluglosen Variante SR30/15 ermittelt. Auf insgesamt sehr hohem Niveau in 2008 bei Hafer wies das System P30 einen signifikant niedrigeren Wert als ZP30/15 und SR30/15 auf.

Diskussion

Aus Sicht des Umweltschutzes ist eine hohe Diversität von Flora und Fauna auch auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wünschenswert. Nach v. ELSÉN *et al.* (2011) gelten Agrarökosysteme jedoch als die am stärksten vom quantitativen und qualitativen Artenverlust betroffenen Biotoptypen. In diesem Zusammenhang sprechen sie von der „Nektarwüste Getreidefeld“. Infolgedessen sei auch die Tierwelt der Äcker stark zurückgegangen.

Im Feldversuch Gladbacherhof wurde, im Vergleich zu konventionellen „Schadsschwellen“ (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2011; GERHARDS, 2010), häufig ein niedriges Niveau des Beikraut-Deckungsgrads und der Abundanz der Begleitpflanzen ermittelt. Negative Effekte der Segetalflora auf das Ertragsniveau der Kulturpflanzen können weitgehend ausgeschlossen werden. Dies wurde in früheren Beiträgen dargelegt (z. B. SCHULZ *et al.*, 2009). Es traten kaum Differenzierungen durch die Betriebssysteme auf. Insgesamt kann die „Ackerwildkraut-Vegetation als floristisch stark verarmt“ bezeichnet werden, wie v. ELSÉN und HOTZE (2008) sie auch für einen intensiv ökologisch bewirtschafteten nordhessischen Standort beschreiben. Dabei ist die Stetigkeit einzelner Arten, z. B. *S. media* L. (Vogel-Sternmiere) oder *V. persica* Poirét (Persischer Ehrenpreis), hoch, aber deren Deckungsgrad zum Zeitpunkt der Bonituren gering. Mit keinem der untersuchten Betriebssysteme gelingt es jedoch seltene Pflanzenarten, die von HOFMEISTER und GARVE (2006) als gefährdet oder vom Aussterben bedroht eingestuft werden, zu fördern.

Im Allgemeinen wird auf ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen eine artenreichere Segetalflora als auf konventionellen erwartet (v. ELSÉN, 1996). Im Dauerfeldversuch Gladbacherhof wird aber ein

gewisses Dilemma auch der ökologischen Landbausysteme deutlich: Einerseits sind Pflanzen der Ackerbegleitflora erwünscht, andererseits wird eine intensive Beikrautregulierung durchgeführt, die das Förderungspotential von Flora und Fauna stark einschränkt. Innerhalb der einzelnen Fruchtfolgen ist jedoch eine Fluktuation des Arteninventars der Segetalflora feststellbar. Üblicherweise wird nach Luzerne-Kleegras mit einer geringeren Individuenanzahl an Ackerwildkräutern und mit weniger blühenden Individuen als nach anderen Feldfrüchten gerechnet. SPRENGER (2005) begründet dies u.a. mit der allelopathischen Wirkung der Pflanzenrückstände. Auch durch die häufige Schnittnutzung kommen Begleitpflanzen nicht zur Blüte. Gerade die Gemenge aus *M. sativa* und *Poaceen* in den Betriebssystemen Gemischtbetrieb mit Viehhaltung GM-V und viehloser Betrieb mit Grünbrache VL-GB würden aber die Möglichkeit zur Etablierung seltener Wildpflanzen bieten, deren Samen in die Saatgutmischung aufgenommen werden könnten. Dies würde jedoch seltenere Nutzungstermine bedingen, damit sowohl Nutz- als auch Begleitpflanzen zur Blüte gelangen. Dadurch könnten insbesondere auch Bodenbrüter gefördert werden. Im System mit Viehhaltung GM-V gehen späte Schnitttermine allerdings mit geringeren Grundfutterqualitäten einher. Hier tritt also ein Zielkonflikt zwischen Ökonomie und Ökologie auf.

In den Richtlinien des Anbauverbandes GAA ist aufgeführt, dass „eine harmonische Begleitflora die Entwicklung der Kulturpflanzen und die Entwicklung einer artenreichen Flora und Fauna begünstigen kann“ (GAA, 2012). Trotzdem ist im Ökologischen Landbau der tief wendende Pflug das vorherrschende Gerät der Grundbodenbearbeitung, obwohl das Prinzip des „reinen Tisches“ der Förderung von Blühpflanzen entgegensteht. Falls sich im Dauerfeldversuch Gladbacherhof hinsichtlich der Beikraut-Deckungsgrade Differenzierungen durch die Bodenbearbeitung ergaben, wies das System P30 (tief wendender Pflug) in der Regel die niedrigsten, das pfluglose System SR30/15 die höchsten Werte auf. Gleiches gilt für die Anzahl der Beikräuter.

Auch in den Untersuchungen von SPRENGER und BELDE (2003) zu den Einflüssen einer differenzierten Primärbodenbearbeitung zählen *G. aparine* L. (Klettenlabkraut) und *V. persica* Poir. (Persischer Ehrenpreis) zu den stetigsten Arten. Einen signifikanten Einfluss auf die populationsbiologischen Parameter Diasporendichte, Individuendichte, Anzahl der blühenden Individuen und oberirdische Phytomasse übte die Bodenbearbeitung jedoch nicht aus (SPRENGER, 2005). Allerdings wurde in diesem Versuch lediglich in 2 Jahren der untersuchten 7-feldrigen Fruchtfolge auf die wendende Pflugarbeit verzichtet.

EYSEL *et al.* (2001) stellen für einen Bodenbearbeitungsversuch in Rheinland-Pfalz fest, dass seltene oder gefährdete Arten der Segetalflora niedrige Frequenzen aufweisen. Die unterschiedlichen Varianten der Bodenbearbeitung hatten auch hier keinen Einfluss.

C. arvensis (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) ist ein ausdauerndes Wurzelunkraut, das sich, wenn es erst etabliert ist, im Ökologischen Landbau nur schwer wieder zurückdrängen lässt (DIERAUER *et al.*, 2004). Nach mechanischen Verletzungen durch ackerbauliche Maßnahmen reagiert es häufig mit einem verstärkten Wurzel- und Sprossaustrieb. Daher ist es ein gefürchtetes Unkraut gerade bei der Umstellung auf ein pflugloses Bodenbearbeitungssystem. Im Feldversuch Gladbacherhof kam es dagegen im Laufe der Jahre zu einer Abnahme von *C. arvensis* (L.) Scop. in dem System ohne Bodenwendung.

Außerdem überlagern die Auswirkungen einer intensiven mechanischen Beikrautregulierung offensichtlich die Effekte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme. Nach v. ELSSEN (1996) resultieren diese mechanischen Eingriffe in einer Verarmung und einer Vereinheitlichung der Ackerwildkraut-Vegetation.

Für den praktischen Landwirt steht in der Regel die direkte oder befürchtete negative Ertragswirksamkeit der Segetalflora im Vordergrund. Aus Sicht des Artenschutzes ergeben sich somit nur geringe Vorteile durch eine reduzierte Intensität der Bodenbearbeitung.

Literatur

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hg.), 2011: Integrierter Pflanzenschutz, Leitunkräuter in Getreide. Online verfügbar unter: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/merkblaetter/p_40353.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2013.
- DIERAUER, H.-U., U. EBERT und B. JOREK, 2004: Ackerkratzdistel. Erfolgreich regulieren im Ökologischen Landbau; Ausgabe Deutschland. Mainz: Bioland-Verlag (Merkblatt / FiBL, Bioland; KÖN).
- ELSEN VAN, T., 1996: Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf die Segetalflora. In: Diepenbrock, W. (Hg.): Langzeiteffekte des Ökologischen Landbaus auf Fauna, Flora und Boden. Beiträge der wissenschaftlichen Tagung am 25.04.1996 in Halle/Saale; Zwischenbericht: Berichtszeitraum 1994/1995; ein Projekt der Boco-Stiftung. Halle: Institut für Acker- und Pflanzenbau, S. 143 – 152.
- ELSEN VAN, T. und C. HOTZE, 2008: Die Integration autochthoner Ackerwildkräuter und der Kornrade in Blühstreifenmischungen für den Ökologischen Landbau. In: Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue **XXI**, 373 – 378.
- ELSEN VAN, T., S. MEYER, F. GOTTWALD, S. WEHKE, C. HOTZE, M. DIETRICH, B. BLÜMLEIN, J. METZNER und C. LEUSCHNER, 2011: Ansätze zur nachhaltigen Sicherung der botanischen Artenvielfalt auf Schutzäckern – eine Aufgabe für Biobetriebe. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16. – 18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 173 – 176. Online verfügbar unter: <http://orgprints.org/17674/>, zuletzt geprüft am 16.10.2013.
- EYSEL, G., U. HAMPL und H. KARRASCH, 2001: Vegetationsökologische Effekte wendender und nicht wendender Bodenbearbeitung im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung (PÖB). In: Reents, H. J. (Hg.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Freising, 6. – 8. März 2001. Berlin: Köster, S. 217 – 220.
- GÄA, 2012: Gää-Richtlinien Erzeugung. Gää e.V. Vereinigung ökologischer Landbau. Stand 12/2012, Dresden. http://gaea.de/userfiles/file/Richtlinien/richtlinien_erzeugung.pdf, zuletzt geprüft am 17.10.2013.
- GERHARDS, R., 2010: Konkurrenz zwischen Unkraut und Kulturpflanzen. Online verfügbar unter: https://turbo.uni-hohenheim.de/other/lehre0910/Gerhards_Konkurrenz.pdf, zuletzt geprüft am 26.11.2010.
- HOFMEISTER, H. und E. GARVE, 2006: Lebensraum Acker. Remagen: Verlag Kessel, S. 291.
- SCHULZ, F., C. BROCK und G. LEITHOLD, 2009: Effekte unterschiedlicher Systeme der Grundbodenbearbeitung auf Erträge und Beikraut im Dauerfeldversuch Gladbacherhof. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 22 – 25. Online verfügbar unter: <http://orgprints.org/14272/>, zuletzt geprüft am 16.10.2013.
- SCHULZ, F., 2012: Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen. Giessener Schriften zum Ökologischen Landbau 5, Verlag Dr. Köster, Berlin. Online verfügbar unter: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2012/9058/>, zuletzt geprüft am 16.10.2013.
- SPRENGER, B., 2005: Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung und Vorfrucht auf die Unkrautvegetation. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 23 – 26. Online verfügbar unter: <http://orgprints.org/3817/>, zuletzt geprüft am 16.10.2013.
- SPRENGER, B. und M. BELDE, 2003: Auflaufraten von Ackerwildpflanzen auf ökologisch bewirtschafteten Flächen des Forschungsverbundes Agrarökosysteme München (FAM). In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24. – 26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 533 – 534. Online verfügbar unter: <http://orgprints.org/1456/>, zuletzt geprüft am 16.10.2013.

Effect of weed patch size on seed removal by harvester ants

Einfluss der Unkrautnestgröße auf die Samenprädation durch Ernteameisen

Paula R. Westerman^{1*}, Valentina Atanackovic² and Joel Torra²

¹Group Crop Health, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of Rostock Satower Str. 48, D-18051 Rostock, Germany;

²Departament d'Hortofructicultura, Botànica i Jardineria, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Spain;

*Corresponding author, paula.westerman@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.056

Abstract

In dryland cereals in North-eastern Spain, the harvester ant, *Messor barbarus* L., is responsible for removal of a large proportion of the newly produced weed seeds (40-100%). The probability that seeds will be found by the ants may be influenced by weed patch size. To investigate this source of variability, 30 seed patches were created in each of three, 50 × 50 m, blocks in a cereal field after harvest, by sequentially seeding (10, 16 and 17 August 2010) with 2000 seeds m⁻² of *Avena sativa* L.. Patch size varied from 0.25 to 9 m². Twenty four hours after seeding, the remaining seeds were collected and seed removal rates estimated.

Average seed removal rate was lowest in the smallest (78-94%) and highest in the largest patches (99-100%). Differences were mainly caused by the fact that some of the smaller patches (9.7%) were not found. However, when patches were found, they were exploited at equal rates (98-100%).

As predicted, the probability of finding a patch increased slightly, but significantly, with increasing patch size. When a patch was found, it was almost always fully exploited, resulting in very high seed removal rates, irrespective of patch size. These results indicate that the size of the seed patch is only a minor source of variation influencing this form of biological control of weeds.

Keywords: Biological control, encounter rate, granivory, harvester ants, patch size, seed predation

Zusammenfassung

Im Getreideanbau der trockenen Regionen im Nordosten von Spanien sind die Ernteameisen (*Messor barbarus* L.) für den Fraß einer großen Menge der neu produzierten Unkrautsamen verantwortlich (40 – 100 %). Die Wahrscheinlichkeit, dass Samen durch die Ameisen gefunden werden, könnte durch die Größe der Unkrautnester beeinflusst sein. Um diese Möglichkeit zu untersuchen, wurden nach der Getreideernte in drei 50 x 50 m Blöcken 30 Samennester geschaffen und darauf am 10., 16. und 17. August 2010 jeweils 2000 Samen m⁻² von *Avena sativa* L. ausgebracht. Die Nestgröße variierte zwischen 0,25 und 9 m². 24 Stunden nach dem Ausbringen der Samen wurden die übrig gebliebenen Samen wieder eingesammelt und die Rate der Samenprädation bestimmt.

Die durchschnittliche Rate der Samenprädation war am niedrigsten bei den kleinen (78 - 94 %) und am höchsten bei den großen Nestern (99 - 100 %). Diese Unterschiede wurden hauptsächlich dadurch verursacht, dass die kleineren Nester (9,7 %) durch die Ameisen nicht gefunden wurden. Wenn die Nester jedoch entdeckt wurden, wurden auch sie mit vergleichbarer Rate gefressen (98 - 100 %).

Wie angenommen, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit ein Samennest zu finden geringfügig, aber signifikant mit zunehmender Größe des Nestes. Wurde ein Nest entdeckt, wurde es aufgrund des sehr hohen Samenfraßes unabhängig von seiner Größe fast vollständig geleert. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Samennestgröße von untergeordneter Bedeutung für diese Form der biologischen Unkrautbekämpfung ist.

Stichwörter: Biologische Bekämpfung, Ernteameisen, Granivoren, Nestgröße, Samenprädation, Trefferrate

Introduction

Seed mortality by granivores, such as birds, rodents, crickets, carabids and harvester ants may limit the population growth of weeds in arable fields. In dryland cereal fields in North-eastern Spain, the harvester ant *Messor barbarus* L. is an important seed predator. It is usually present at high densities (BARAIBAR *et al.*, 2011a) and can cause up to 46-100% seed losses, depending on the weed species (WESTERMAN *et al.*, 2012).

Weeds tend to have a patchy spatial distribution, with some areas that are densely populated and other areas that are void of weeds (e.g., Johnson *et al.*, 1996). Various factors are known to influence weed patch dynamics, such as seed dispersal, seed persistence, crop-weed and weed-weed competition, soil conditions and herbicide treatment (e.g., JOHNSON *et al.*, 1996; WEBSTER *et al.*, 2000; BLANCO-MORENO *et al.*, 2004; SHIRTLIFFE *et al.*, 2002; HEIJTING *et al.*, 2007). Seed mortality due to granivory may be another factor influencing patch dynamics. The use of patchy resources consists of two components, namely the patch encounter rate and patch exploitation rate (BARAIBAR *et al.*, 2011 b).

Patch encounter rate is influenced by the action radius of the ant colony. *Messor barbarus* is a central place forager, i.e. its workers return to the nest after a successful encounter with a food item. It forms stable trunk trails up to 30 m around the nest entrance (AZCÁRATE and PECO, 2003). In addition, it may form temporary trails in response to temporary patchy resources. Recruitment of workers to trails is controlled by pheromones (PLOWES *et al.*, 2013). Superimposed on colony behaviour is the spatial arrangement of nests and patches. *Messor barbarus* colonies tend to be regularly distributed at the small scale (≤ 10 m), but can occur clustered at larger scales. It is likely that weed patches located in areas that are heavily occupied by ant nests will have a higher probability of being discovered than patches located in an area relatively void of nests.

In this study, we investigated whether weed patch size influenced patch encounter rate. We hypothesized that smaller patches would have a lower probability of being found and exploited than larger patches, forming an escape mechanism by which weed may persist. By creating seed patches of different size but similar seed density, we eliminated the effect of exploitation rate.

Material and Methods

In a commercial, no-till cereal field in North-eastern Spain in 2010, an experimental area (150×50 m) was divided into three blocks (A, B and C) of 50×50 m each, one month after crop harvest. Thirty patches were created by removing the straw and manually scattering oats (*Avena sativa* L.), as a model species, at a rate of 2000 seeds m^{-2} , as determined by weight, during the early morning hours (7:00 - 7:30 h). Patches varied in size (Tab. 1), and were randomly located within a block, at a minimum distance of 1 m from each other and block edge. Twenty four hours after seeding, the remaining seeds were retrieved using a D-Vac (Vortis; Burkard manufacturing Co. Ltd., Rickmansworth, UK), operated for approx. two minutes per m^2 . In the case of patch sizes 1 and 2, the entire area was vacuum-cleaned; for size 3, two, $1 m^2$ sub-areas were sampled; for size 4, three, $1 m^2$ sub-areas were sampled. Samples were dried, sieved, cleaned from straw and weighed to estimate seeds retrieved. The experiment was initiated sequentially: block A on 10 August, B on 16 August, and C on 17 August.

Per block, five additional $1 m^2$ patches (controls) were sampled one day prior to seed application to assess background seed densities. Furthermore, three additional $1 m^2$ patches per block were used to test the efficiency of the D-vac, by retrieving seeds immediately after application. The average sampling efficiency, E , was calculated as the ratio between the weights of the seeds recovered (S_r) and seed applied (S_i). The seed removal rate, R , was estimated as the difference between initial, S_i , and recovered seed weight, S_r , corrected for the average sampling efficiency, E , and relative to the initial seed weight (S_i); $R = (S_i - S_r / E) / S_i * 100\%$. Ant nest density was determined by counting all nests per block.

A linear mixed regression model (Binomial distribution, logit link function, Genstat 11) was used to explain the effect of the factors block, patch within block and patch size on the proportion of seeds removed. Patches were included as a random factor and block and patch size as fixed factors. Because the factor block was significant, subsequent analyses were performed for each block separately.

Tab. 1 Patch characteristics for patch sizes 1, 2, 3 and 4.**Tab. 1** Nestmerkmale für die Nestgrößen 1, 2, 3 und 4.

Patch size class	Number of patches per block	Length = width [m]	Surface area [m ²]
1	16	0.5	0.25
2	8	1	1
3	4	1.73	3
4	2	3	9

Results

No seeds were found on the soil surface prior to seeding, except for some barley seeds (30, 22, and 85 seeds m⁻² for blocks A, B, and C, respectively). Given these low numbers, pre-existing seeds are not likely to have influenced seed removal rates. Ant nest density was similar in all blocks (416, 436 and 428 nests ha⁻¹ in blocks A, B and C, respectively) and, therefore, not likely to have affected seed removal rates. The average temperature during the sequential exposure periods was 25.3 °C in block A, 20.4 °C in block B and 24.1 °C block C. The average sampling efficiency, *E*, was 93.8%. The lowest efficiency found in a patch (91.3%) was used to derive the threshold value (8.7%) below which patches were assumed not to have been found and exploited by ants.

Tab. 2 Average seed removal rate, *R* (based on weight), and the number of patches not found ($R < 8.7\%$), partially exploited ($8.7\% \leq R < 98\%$) and fully exploited ($R \geq 98\%$) in blocks A, B and C.

Tab. 2 Mittlere Rate der Samenpräädation, *R* (basierend auf Gewicht) und die Anzahl der Nester, die in den Blöcken A, B und C nicht gefunden ($R < 8.7\%$), teilweise gefressen ($8.7\% \leq R < 98\%$) und vollständig gefressen ($R \geq 98\%$) wurden.

Block	Patch size class	N	Average R [%]	Number of patches with			% patches found
				$R < 8.7^*$	$8.7 \leq R < 98$	$R \geq 98$	
A	1	16	88	2	0	14	87.5
	2	8	100	0	0	8	100
	3	4	100	0	0	4	100
	4	2	100	0	0	2	100
B	1	16	78	3	2	11	81.25
	2	8	82	1	1	6	87.5
	3	4	100	0	0	4	100
	4	2	86	0	1	1	100
C	1	16	94	1	0	15	93.75
	2	8	100	0	0	8	100
	3	4	100	0	0	4	100
	4	2	100	0	0	2	100

* patches considered not found

Average seed removal rate was lowest in small (78-94%) and highest in medium and large patches (86-100%; Tab. 2). Patch size significantly influenced average seed removal rate in blocks A ($P < 0.001$) and C ($P = 0.002$), but not in block B ($P = 0.063$). Differences in average seed removal rate were mainly caused by the encounter rate and less so by the exploitation rate. Six out of 48

patches of size 1 and 1 out of 24 patches of size 2 had not been discovered by harvester ants ($R < 8.7\%$) and only four patches of different sizes, but all located in block 2, had been partially exploited ($8.7\% \leq R < 98\%$). All other patches had been (almost) fully exploited ($98\% \leq R \leq 100\%$) (Tab. 2).

Discussion

The probability of finding a patch increased slightly, but significantly, with increasing patch size. When a patch was found, it was almost always fully exploited, resulting in very high seed removal rates, irrespective of patch size.

A 24h exposure period had been chosen deliberately. Prior experience with these harvester ants had indicated that prolonged exposure could result in extremely high encounter and exploitation rates (BARAIBAR *et al.*, 2011 b), which would have masked any (temporary) differences caused by patch size. However, under normal field conditions, exposure can last several weeks, which should suffice to annihilate any patch of any size. Consequently, small patch size is not a very likely mechanism by which weed seeds can avoid predation despite strong predation pressure. If weeds have no other mechanisms by which they can safely enter the seed bank in fields occupied by harvester ants, the seed bank should gradually exhaust (FORCELLA, 2003) and the weed population could perish.

Assuming a regular distribution of nests in space and an action radius of 25 m around the nest entrance (AZCÁRATE and PECO, 2003), a density of 16 nests ha^{-1} should suffice to fully cover a field. Here, nest densities had been 26 times higher, although absolutely normal for the region (range 140–1168 nests ha^{-1} ; BARAIBAR *et al.*, 2011a). Results may have been different if nest density had been (much) lower.

Results in block B differed from those in the other blocks; more patches remained undiscovered and only this block harboured partially exploited patches. The average temperature during the period of seed exposure in block B had been 4 - 5 °C lower than in the other two blocks. It is likely that this was responsible for the deviating results, as *M. barbarus* is known to respond strongly to temperature, affecting foraging activity (AZCÁRATE *et al.*, 2007). We noticed that some patches were discovered late, such that only part of the seeds had been harvested by the time of the evaluation.

Two other mechanisms may have been involved in the partially exploited or undiscovered patches. Three of the undiscovered small patches were located next to large patches, which may appear more attractive, luring the ants away from the neighbouring smaller patches (LÓPEZ *et al.*, 1993). As soon as the larger patches have been exploited, the ants may have focused their attention on smaller patches. As anticipated, seed patches could (temporary) escape harvesting if located in an area that is relatively void of nests. This was the case for the size-4 patch in block B that had been partially exploited. Only one small nest was present in a radius of 10m around the patch.

In the normal range of nest densities found in the area, small patch size *per se* is not a very likely mechanism by which weed seeds can avoid predation. The size of a seed patch is only a minor source of variation influencing this form of biological control of weeds. Harvester ants appear to be highly effective seed predators, more so than most other seed predators in most other agroecosystems (compare DAVIS *et al.*, 2011).

References

- AZCÁRATE, F. M. and B. PECO, 2003: Spatial patterns of seed predation by harvester ants (*Messor Forel*) in Mediterranean grassland and scrubland. *Insect. Soc.* **50** (2), 120-126.
- AZCÁRATE, F. M., E. KOVACS and B. PECO, 2007: Microclimatic conditions regulate surface activity in harvester ants *Messor barbarus*. *J. Insect Behav.* **20** (3), 315-329.
- BARAIBAR, B., J. TORRA and P. R. WESTERMAN, 2011a: Harvester ant (*Messor barbarus* (L.)) density as related to soil properties, topography and management in semi-arid cereals. *Appl. Soil Ecol.* **51**, 60-65.
- BARAIBAR, B., E. CARRIÓN, J. RECASENS and P. R. WESTERMAN, 2011b: Unravelling the process of weed seed predation: seed cache finding, seed utilization and seed preference. *Biol. Control* **56**, 85-90.

- BLANCO-MORENO, J. M., L. CHAMORRO, R. M. MASALLES, J. RECASENS and F. X. SANS, 2004: Spatial distribution of *Lolium rigidum* seedlings following seed dispersal by combine harvesters. *Weed Research* **44** (5), 375-387.
- DAVIS, A. S., D. DAEDLOW, B. J. SCHUTTE and P. R. WESTERMAN, 2011: Temporal scaling of episodic point estimates of seed predation to long-term predation rates. *Methods in Ecology and Evolution* **2**, 682-690.
- FORCELLA, F., 2003: Debiting the seedbank: priorities and predictions. *Aspect. Appl. Biol.* **69**, 151-162.
- HEIJTING, S., W. VAN DER WERF, A. STEIN and M. J. KROPPF, 2007: Are weed patches stable in location? Application of an explicitly two-dimensional methodology. *Weed Research* **47** (5), 381-395.
- JOHNSON, G. A., D. A. MORTENSEN and C. A. GOTWAY, 1996: Spatial and temporal analysis of weed seedling populations using geostatistics. *Weed Science* **44** (3), 704-710.
- LÓPEZ, F., F. J. ACOSTA and J. M. SERRANO, 1993: Responses of the trunk routes of a harvester ant to plant density. *Oecologia* **93** (1), 109-113.
- PLOWES, N. J. R., R. A. JOHNSON and B. HÖLLDOBLER, 2013: Foraging behaviour in the ant genus *Messor* (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). *Myrmecol. News* **18**, 33-49.
- SHIRTLIFFE, S. J., N. C. KENKEL and M. H. ENTZ, 2002: Fractal analysis of seed dispersal and spatial pattern in wild oats. *Community Ecology* **3** (1), 101-107.
- WEBSTER, T. M., J. CARDINA and S. J. WOODS, 2000: *Apocynum cannabinum* interference in no-till *Glycine max*. *Weed Science* **48** (6), 716-719.
- WESTERMAN, P. R., V. ATANACKOVIC, A. ROYO-ESNAL and J. TORRA, 2012: Differential weed seed removal in dryland cereals. *Arthropod-Plant Inte.* **6**, 591-599.

Langzeiteffekt der Umstellung auf Ökologischen Landbau auf den Diasporenvorrat der Segetalflora (Untersuchungen im Ökohof Seeben, 1994 bis 2011)

Long-term effects of conversion to organic farming on the weed seed bank (Investigations on the Ökohof Seeben, 1994-2011)

Christian Wittmann*, Arne Petruschke und Olaf Christen

Universität Halle, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, 06099 Halle (Saale)

*Korrespondierender Autor, christian.wittmann@landw.uni-halle.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.057

Zusammenfassung

Der langfristige Anpassungsprozess der Segetalflora an die extensivierte Flächennutzung durch Ökologischen Landbau wird für einen ca. 350 ha großen, vom Ökohof Seeben einheitlich bewirtschafteten Landschaftsausschnitt im Mitteldeutschen Trockengebiet dokumentiert. An ortskonstanten Beobachtungspunkten wurden die Diasporenvorräte im Anschluss an eine zweijährige Umstellungsphase in den Jahren 1994, 1996 und 1998 sowie 2004 und 2011 erfasst. Die Bestimmung der Vorräte erfolgte mittels Auskeimungsmethode für 20 Beobachtungspunkte mit je vier Teilflächen. Umfang, Zusammensetzung und Struktur der beobachteten Diasporenvorräte weisen für jeden Beobachtungsstandort eine ausgeprägte zeitliche Dynamik auf. Allgemein steigt der Umfang der Diasporenvorräte während der betrachteten 18 Jahre von 17.420 auf 33.200 Diasporen qm^{-2} stetig an. Von 1994 bis 2011 sind Diasporen von insgesamt ca. 80 Arten nachzuweisen. Mit zunehmender Dauer des Ökologischen Landbaus treten standorttypische Segetalarten (*Consolida regalis* u.a.) wieder vermehrt auf. Zwei Drittel des Gesamt-Diasporenvorrats bilden jedoch acht ubiquitäre Arten. Ihre Anteile ändern sich in unterschiedlichem Ausmaß. Die resultierenden Dominanzverhältnisse zeigen dabei zwischen den Zeitabschnitten nur geringe Veränderungen. 1994 liegt der Evenness-Wert bei 0,70 und 2011 bei 0,73. Anhand von Massengemeinschaftskoeffizienten werden deutliche Unterschiede zwischen den Diasporenvorräten der Beobachtungsflächen sichtbar. Die Variation zwischen den einzelnen Beobachtungsstandorten ist wesentlich höher als die zeitabhängigen Veränderungen. Im untersuchten Agrarraum – dessen Böden durchweg gute Ertragsfähigkeit aufweisen – bleibt die auch vor der Bewirtschaftungsumstellung existente Standortdifferenzierung der Segetalflora erhalten.

Stichwörter: Diasporenvorrat, Dauerflächen, Langzeitbeobachtung, Ökologischer Landbau

Abstract

Long term adaptation of weed flora to extensive land use (organic farming) was analysed. 350 acres were equally managed by Ökohof Seeben in central German dry region. At permanent observation points seed banks were investigated in 1994, 1996 and 1998 as well as in 2004 and 2011 after a two-year transition period. The determination of seed banks was carried out by using greenhouse emergence assay for 20 observation points, each with 4 subplots. Size, composition and structure of the observed seed banks showed distinct time-dependent changes for each site. Seed bank density rose from 17,420 to 33,200 seeds qm^{-2} during the 18 year observation period. From 1994 to 2011 seeds of approximately 80 species were detected. As organic farming continued site-typical weed species (e.g. *Consolida regalis*) increased in number. However, two-thirds of the total seed bank consisted of eight ubiquitous species. Their proportion changed to varying degrees. The resulting dominance relationships showed only minor changes over time. In 1994 and 2011 the evenness value was at 0.70 and 0.73, respectively. By use of mass community coefficients distinctly differences between the seed banks of the different plots were found. The variation between the observation points is substantially greater than the time-dependent changes. In the examined area – of which soils show consistently good yield capacity – the location differentiation of weed flora that existed before introduction of organic farming is maintained.

Keywords: Long-term study, organic farming, permanent plots, weed seedbank

Einleitung

Bei konventionell-intensiver Flächennutzung ist allgemein die Uniformierung und eine floristische Verarmung von Agrarflächen festzustellen (HILBIG und BACHTHALER, 1992). Der Ökologische Landbau wird dagegen als Chance zur Erhaltung bzw. Regeneration einer hohen biologischen Diversität angesehen (KÖPKE, 2002). Unkräuter sind wichtige Bestandteile der Agroökosysteme. Gleichzeitig

ist die Verhinderung von Schädwirkungen des Unkrautaufretens für eine landwirtschaftliche Ertragssicherung unerlässlich. Sowohl aus landwirtschaftlicher Sicht, als auch aus Sicht eines Arten- und Biotopschutzes erscheint es daher sinnvoll, die bei einer entsprechenden Bewirtschaftungsumstellung eintretenden Veränderungen zu erfassen und zu analysieren (BISCHOFF und MAHN, 1994).

In Mittel- und Ostdeutschland haben sich seit den 1990iger Jahren zahlreiche, nach den Regeln des Ökologischen Landbaus wirtschaftende Betriebe etabliert. Betriebsgrößen und die Größen der Schlägeinheiten dieser Betriebe übersteigen die zuvor im Ökologischen Landbau üblichen Dimensionen. In der Regel wurden die umgestellten Flächen zuvor konventionell-intensiv genutzt. Die im Mitteldeutschen Agrarraum betroffenen Standorte weisen häufig eine hohe Ertragsfähigkeit auf. Der Anpassungsprozess der Segetalflora an den Ökologischen Landbau wird durch diese Produktions- und Standortbedingungen bestimmt. Untersuchungen zur Entwicklung der Segetalflora nach Umstellung auf Ökologischen Landbau liegen unter anderem für einen bayerischen Standort von ALBRECHT (2008) und von NEUMANN *et al.* (2005) für die Bedingungen in Schleswig-Holstein vor.

Die Anpassung etablierter Pflanzengemeinschaften an geänderte Bewirtschaftungsbedingungen erfordert ausreichend lange Zeiträume. Sie sind Resultat eines hochkomplexen Wirkungsgefüges zwischen den etablierten Pflanzengemeinschaften, den Standort- und Witterungsbedingungen, den angebauten Fruchtarten und der konkreten Gestaltung der Anbauverfahren. Mit dem Ziel einer langfristigen Dokumentation der Wirkung des Ökologischen Landbaus auf die Segetalflora zuvor konventionell genutzter Flächen, erfolgen im Raum Seeben seit 1994 kontinuierlich Aufnahmen zum Unkrautaufreten. Die Resultate der Erhebungen zu den Diasporenvorräten sollen hier im Überblick dargestellt werden.

Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet ist ein Agrarraum im nördlichen Randbereich der Stadt Halle (Saale). Hier sind wenig gegliederte, große ebene Ackerflächen mit hoher Ertragsfähigkeit landschaftsprägend. In seinem westlichen Teil umfasst das Gebiet jedoch auch einen reicher strukturierten, hügeligen Landschaftsteil. Klimatisch wird der Agrarraum mit Jahresniederschlägen zwischen 450 und 500 mm dem Mitteldeutschem Trockengebiet zugerechnet. Neben den im Wesentlichen vorkommenden z.T. degradierten (Norm-)Tschernosemen und Braunerde-Tschernosemen existieren auf verhältnismäßig engem Raum nebeneinander weitere Bodentypen (Rendzina, Parabraunerde, Pelosol und Gley). Die Untersuchungen erfolgen auf Ackerflächen die insgesamt ca. 350 ha umfassen. Ihre Nutzungsgeschichte ist unterschiedlich. Ein Teil der Flächen wurde bis 1992 obstbaulich genutzt. Auf einzelnen langjährig ackerbaulich genutzten Flächen erfolgte konzentrierter Futterbau. Seit 1994 werden die Ackerflächen einheitlich durch den, überwiegend auf Marktfruchtanbau ausgerichteten, Ökohof Seeben genutzt. Die durchschnittlichen Anbauverhältnisse während der Untersuchungsabschnitte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Zwischen den einzelnen Schlägen bestehen jedoch z.T. deutliche Unterschiede.

Die Beobachtung der Diasporenvorräte erfolgte auf 20 im Gelände verteilten, ortstreu eingemessenen, 100 m² großen Flächen. Je Beobachtungsstandort wurden 4 Teilflächen zu jeweils 25 m² getrennt erfasst (8 Einstiche mit einem 3,5 cm-Bohrer und 30 cm Tiefe). Eine erste Beprobung der Beobachtungspartellen fand im Frühjahr 1994 statt. Alle weiteren Probenahmen wurden im Spätherbst (November/Dezember) durchgeführt. Im ersten Untersuchungsabschnitt erfolgten sie in Zweijahres-Intervallen 1994, 1996 und 1998, im Weiteren dann in den Jahren 2004 und 2011. Es ergeben sich nach dem Aussetzen der konventionellen Bewirtschaftung im Jahr 1992 so drei vergleichbar lange Zeitabschnitte von sechs bzw. sieben Anbaujahren. Der Diasporengehalt der Proben wurde durch Registrierung aller aufgelaufenen Pflanzen, des in Keimschalen angesetzten Bodenmaterials (Kultivierungsmethode), bestimmt (WITTMANN und HINTZSCHE, 2000).

Tab. 1 Durchschnittliche Anteile einzelner, nach ihrer Bedeutung für das Unkrautaufreten gruppierter, Fruchtarten auf den Beobachtungsparzellen.

Tab. 1 Average percentage of individual crops on the observation plots, grouped according to their importance for the occurrence of weed.

Fruchtartengruppe	1992-1998	1999-2004	2005-2011	Gesamtzeitraum
Mehrschnittige Fruchtarten & Brachen	26,4 %	19,2 %	9,3 %	18,2 %
Sommerungen (Getreide & Blattfrüchte)	37,9 %	35,0 %	30,7 %	35,0 %
Hackfrüchte (Aussaat ab Mai)	2,7 %	9,2 %	7,1 %	6,8 %
Winterungen (Getreide & Blattfrüchte)	30,0 %	36,7 %	52,9 %	40,0 %

Je Erfassungstermin standen 80 Datensätze zur Verfügung. Prüfungen des zeitlichen Einflusses auf die Diasporenvorräte erfolgten mit dem Friedman-Test. Unterschiede zwischen den Erfassungsterminen wurden durch multiple Zwei-Gruppen-Vergleiche mit dem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, einschließlich Korrektur nach der Bonferroni-Methode, ermittelt ($p \leq 0,05$). Bei der rechenstechnischen Umsetzung und der Erstellung der Grafiken kam die Statistiksoftware R 3.0.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) zum Einsatz.

Ergebnisse

Der im Rahmen der vorliegenden Arbeit früheste Zeitpunkt der Erfassung der Diasporenvorräte liegt am Ende der Umstellungsphase auf Ökologischen Landbau. Vor und während der Bewirtschaftungsumstellung sind die Diasporenvorräte nicht dokumentiert. Die Werte der Erstbeobachtung vom Frühjahr 1994 spiegeln jedoch die Bedingungen der vorangegangenen Vegetationsperioden wider. Diese und die nach der Ernte 1994 ermittelten Diasporenvorräte dienen als Vergleichsbasis für die Beobachtung der Entwicklung des Diasporenpotentials.

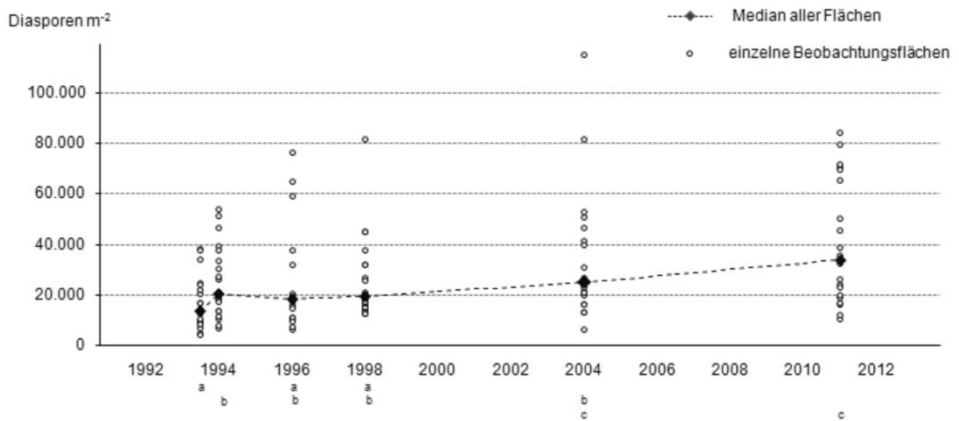


Abb. 1 Diasporenvorräte der Beobachtungsflächen in Abhängigkeit von der Dauer der Bewirtschaftung durch Ökologischen Landbau (Termine mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant bei $p \leq 0,05$).

Fig. 1 Seedbank on the sampling plots depending on the duration of organic farming (Dates with similar letters are not significantly different at $p \leq 0.05$).

Während des Gesamtuntersuchungszeitraums sind auf den beobachteten Flächen Diasporengehalte von minimal 2.990 Diasporen m^{-2} bis zu maximal 122.460 Diasporen m^{-2} zu registrieren. Mit Fortdauer der Flächennutzung durch den Ökologischen Landbau steigt der Diasporenvorrat deutlich an. Von 17.420 Diasporen m^{-2} (Median Frühjahr und Herbst 1994)

unmittelbar nach der Umstellungsphase verdoppelt sich die Diasporendichte auf 33.200 Diasporen m⁻² im Jahr 2011. Beim Vergleich der Zeitabschnitte sind jedoch nur die Unterschiede zwischen den Diasporenvorräten der Erfassungstermine bis 1998 und dem des Jahres 2011 statistisch zu sichern.

Die zeitlich enge Erfassung der Diasporenvorräte im ersten Untersuchungsabschnitt macht eine ausgeprägte Fluktuation der Diasporendichten sichtbar (Abb. 1). Der geringste Diasporenvorrat ist am ersten Erfassungstermin, im Frühjahr 1994 zu registrieren. Nach der Ernte 1994 übersteigt die ermittelte Diasporendichte alle weiteren bis zum Jahr 1998 gemessenen Werte. 1996 ist die Diasporendichte wieder geringer als im Herbst 1994. Ab diesem Zeitpunkt wächst sie dann aber kontinuierlich an. Die Diasporendichten dieses Untersuchungsabschnittes unterscheiden sich, abgesehen von der des Frühjahrs 1994, statistisch jedoch nicht vom Umfang des nach Ablauf des zweiten Sechs-Jahresabschnittes im Jahr 2004 vorhandenen Diasporenvorrates. Erst die Diasporendichte nach 20 Jahren extensivierter Flächennutzung ist signifikant höher als die des ersten Untersuchungsabschnittes.

Mit ansteigender Diasporendichte wird auch die Differenzierung der Diasporenvorräte zwischen den Beobachtungspartellen größer. Zu allen Erfassungszeitpunkten ist die weite Streuung der Diasporendichten zwischen den einzelnen Beobachtungspartellen auffällig. Die mittleren absoluten Abweichungen (MAD) stehen in ähnlichen Verhältnissen zueinander, wie die Diasporendichten. Auch hier ist die MAD-Standardabweichung der Diasporendichten im Jahr 2011 mit 24.767 Diasporen m⁻² in etwa doppelt so hoch, wie die vom Frühjahr und Herbst 1994 mit 11.757 Diasporen m⁻².

Über den gesamten Untersuchungszeitraum betrachtet, setzen sich die Diasporenvorräte zu zwei Dritteln aus den Arten *Chenopodium album*, *Papaver rhoeas*, *Amaranthus retroflexus*, *Stellaria media*, *Thlaspi arvense*, *Lamium spec.*, *Tripleurospermum perforatum* und *Capsella bursa-pastoris* zusammen. Der Umfang des Diasporenvorrates dieser Arten variiert sowohl im zeitlichen Verlauf, als auch zwischen den Beobachtungsstandorten. Unter den Dominanzarten zeigt besonders *A. retroflexus* einen Schwerpunkt seines Auftretens am Beginn des Untersuchungszeitraums. Die Samenvorräte von *T. perforatum*, *P. rhoeas* und die *Lamium*-Arten erreichen dagegen 2011 ihre höchsten Dichtewerte.

In Tabelle 2 sind die Stetigkeit des Auftretens und die Mediane der Diasporendichten der Segetalarten, die mindestens an einem Erfassungstermin auf über 50 % der Beobachtungsflächen vorkommen bzw. die in mindestens einem Fall eine Diasporendichte über 10.000 Diasporen m⁻² erreichen, zusammengestellt. Die zum Teil geringen Dichten-Mediane der aufgelisteten Arten spiegeln die Heterogenität im Arteninventar der Diasporenvorräte wider. Kommt eine Art nur auf weniger als der Hälfte der Beobachtungsflächen vor, dann liegt der Dichte-Median vollständig bei null. Auf einzelnen Beobachtungsstandorten können diese Arten dennoch hohe Diasporendichten aufweisen. Zu den Differenzen zwischen den Beobachtungsflächen tragen neben den als Hauptarten ausgewählten Diasporen weitere Arten bei. Wie *A. retroflexus*, *Echinochloa crus-galli* oder *Solanum nigrum* weisen so auch *Chenopodium hybridum*, *Galinsoga parviflora* und *Senecio vulgaris* am Beginn der Bewirtschaftung durch den Ökologischen Landbaus vergleichsweise hohe Diasporenvorräte auf. Diese stickstoff- und wärmeliebenden Unkräuter kommen hier mit Schwerpunkt auf den Flächen mit obstbaulicher Vornutzung vor. Ihr Rückgang kann daher nur zum Teil der Extensivierung der Bewirtschaftung zugerechnet werden. Das zu registrierende Ansteigen der Diasporenvorräte von *T. perforatum*, *P. rhoeas*, den *Lamium*-Arten oder *Veronica hederifolia* 2011 ist gleichfalls nicht von der Änderung des Anbauspektrums zu trennen. Im Zeitraum 2004-2011 ist der Winterungsanteil der Fruchtfolgen deutlich höher, als in den davorliegenden Zeiträumen.

Tab. 2 Stetigkeit des Vorkommens und Mediane der Diasporendichten der im Untersuchungsgebiet registrierten Hauptarten.

Tab. 2 Continuity of occurrence and medians of seed densities of the main species recorded in the study area.

Segetalarten *	1994 (Frühj.)		1994		1996		1998		2004		2011	
	Stetig-keit (%)	Dichte (m ⁻²)	Stetig-keit (%)	Dichte (m ⁻²)	Stetig-keit (%)	Dichte (m ⁻²)	Stetig-keit (%)	Dichte (m ⁻²)	Stetig-keit (%)	Dichte (m ⁻²)	Stetig-keit (%)	Dichte (m ⁻²)
<i>Chenopodium album</i>	93,8	1.170	100,0	2.340	100,0	1.755	96,3	5.915	97,5	4.940	100,0	3.900
<i>Stellaria media</i>	95,0	1.430	97,5	1820	100,0	2.210	93,8	1.690	97,5	1.560	87,5	1.560
<i>Thlaspi arvense</i>	82,5	260	92,5	520	95,0	650	77,5	1.690	86,3	2.210	93,8	2.080
<i>Lamium spec.</i>	73,8	195	87,5	325	93,8	715	72,5	650	92,5	1.560	93,8	1.820
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	95,0	260	76,3	130	88,8	390	62,5	1.040	66,3	260	78,8	780
<i>Polygonum aviculare</i>	88,8	195	81,3	130	73,8	260	53,8	390	63,8	260	42,5	
<i>Viola arvensis</i>	56,3	130	60,0	130	56,3	130	38,8	390	60,0	260	56,3	130
<i>Veronica spec.</i>	60,0	130	93,8	260	70,0	130	43,8		61,3	260	71,3	910
<i>Papaver rhoeas</i>	50,0	65	60,0	130	55,0	130	32,5		51,3	130	82,5	2.080
<i>Amaranthus retroflexus</i>	90,0	1.105	96,3	1.170	80,0	650	56,3	650	43,8		15,0	
<i>Tripleurospermum perforatum</i>	42,5		51,3	130	58,8	130	40,0		77,5	650	96,3	2.080
<i>Coryza canadensis</i>	63,8	130	68,8	130	65,0	130	83,8	1.040	11,3		7,5	
<i>Veronica hederifolia</i>	38,8		56,3	130	58,8	130	42,5		58,8	260	72,5	390
<i>Poa annua</i>	78,8	195	65,0	130	70,0	130	22,5		6,3		2,5	
<i>Apera spica-venti</i>	57,5	130	75,0	130	23,8		8,8		12,5		13,8	
<i>Echinochloa crus-galli</i>	41,3		68,8	130	36,3		26,3		26,3		13,8	
<i>Solanum nigrum</i>	36,3		61,3	130	46,3		18,8		16,3		1,3	
<i>Cirsium arvense</i>	10,0		13,8		27,5		12,5		63,8	130	30,0	
<i>Myosotis arvensis</i>	33,8		17,5		28,8		15,0		26,3		22,5	
<i>Persicaria maculosa</i>	31,3		35,0		21,3		22,6		17,5		13,8	
<i>Fumaria officinalis</i>	6,3		8,8		10,0		3,8		11,3		13,8	
<i>Arabisopsis thaliana</i>	21,3		31,3		20,0		2,4		3,8		17,5	
<i>Sisymbrium spec.</i>	7,1		7,5		17,5		13,8		8,8		20,0	
Anzahl registrierter Arten	49		60		56		51		51		57	

*Anordnung der Arten nach der Stetigkeit ihres Auftretens im Gesamt-Zeitraum

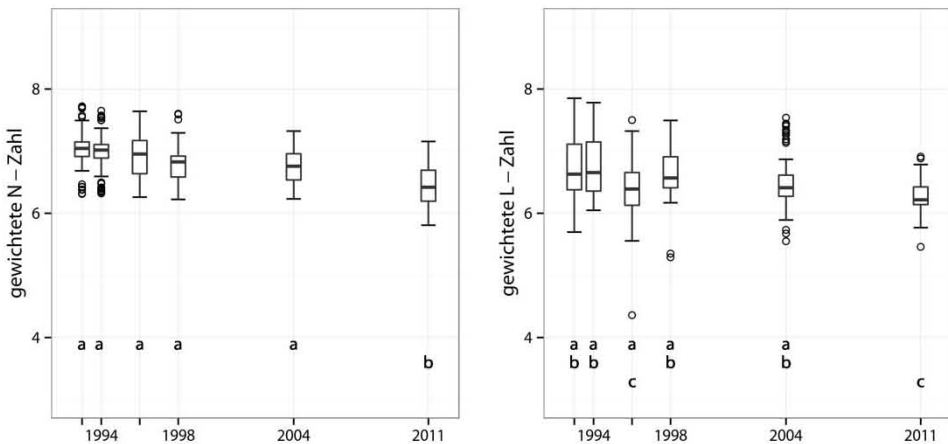


Abb. 2 Mediane mit Quartilen und Spannweiten für die gewichteten mittleren Stickstoff-Zahlen und die gewichteten mittleren Licht-Zahlen der Diasporenvorräte der Beobachtungsflächen in Abhängigkeit von der Dauer der Bewirtschaftung durch Ökologischen Landbau (Termine mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant bei $p \leq 0,05$).

Fig. 2 Medians with quartiles and spans for the weighted mean N-number and weighted mean L-number of the seedbank on the plots depending on the duration of organic farming (Dates with similar letters are not significantly different at $p \leq 0.05$).

Zu den Arten, die nicht den ausgewählten Kriterien für die Hauptarten entsprechen, zählen u. a. *Silene noctiflora* und *Consolida regalis*. Für diese standorttypischen Arten sind mit zunehmender Dauer der ökologischen Bewirtschaftung sowohl eine ansteigende Stetigkeit ihres Auftretens, als auch zunehmende Diasporendichten festzustellen.

Ellenbergsche Zeigerwerte ermöglichen eine Beschreibung des Arteninventars der Beobachtungsflächen hinsichtlich seines ökologischen Verhaltens gegenüber dem Faktor Verfügbarkeit von pflanzenaufnehmbarem Stickstoff und gegenüber den Lichtverhältnissen (ELLENBERG *et al.*, 1992). Eine Gewichtung der Einzelarten nach der Diasporendichte reduziert hierbei den Einfluss einer unvollständigen, zufallsbeeinflussten Arterfassung bei der Bestimmung der Diasporenvorräte. Durch die Berechnung von Mittelwerten können Pflanzengemeinschaften in ihrer Gesamtheit bewertet werden. Die mittleren gewichteten N-Zahlen der Beobachtungsflächen gehen mit anhaltenden Ökologischen Landbau kontinuierlich zurück. Die Diasporenvorräte ändern sich somit zugunsten von Arten, die ein geringeres Stickstoffangebot vertragen. Statistisch bedeutsam wird die Veränderung der Diasporenvorräte mit dem zeitlichen Fortschritt jedoch erst zum Erfassungstermin 2011. Die Anpassung der Segetalflora an Änderungen des Lichtangebotes in den Beständen wird mit der L-Zahl indiziert. Sie schwankt innerhalb des Untersuchungszeitraumes ohne eindeutige Tendenz. Die Unterschiede zwischen einzelnen Erhebungszeitpunkten sind z.T. bedeutsam. Mehrheitlich setzten sich die Diasporenvorräte aus Pflanzenarten zusammen, deren ökologisches Verhalten zwischen dem von Halbschattenpflanzen und dem von Halblichtpflanzen einzuordnen ist.

Das zentrale Kriterium zur Beurteilung der Diversität (α -Diversität) einer Pflanzengemeinschaft ist die Anzahl der vorkommenden Arten. Die im Diasporenvorrat ermittelte Artenzahl entspricht erfassungsmethodisch bedingt nur der Anzahl der Arten, die eine Mindestdiasporendichte erreichen. Arten mit geringer Diasporendichte lassen sich nur mit sehr hohem Aufwand sicher erfassen. Zudem sind in der vorliegenden Untersuchung, auf Grund ihrer problematischen Bestimmbarkeit, *Lamium*-, *Veronica*- (ausgenommen *V. hederifolia*), *Vicia*-, *Sisymbrium*- und *Rumex*-Arten jeweils als Gruppe gezählt. Damit unterscheiden sich die ermittelten Artenzahlen des Diasporenvorrates von der Artenzahl üblicher vegetationskundlicher Erhebungen. Sie ist jedoch unabhängig von den, das Artaufreten beeinflussenden Auflaufbedingungen.

Im analysierten Probenmaterial wurden insgesamt ca. 80 Arten registriert. An den einzelnen Erfassungsterminen beträgt die Gesamt-Artenanzahl 49 bis 60 Arten. Die Mediane der Mittleren Artenzahlen der Beobachtungsflächen variieren im Untersuchungszeitraum von 11 bis 21 Arten je Aufnahmefläche. Sie sind in den ersten Jahren nach der Bewirtschaftungsumstellung bis zum Jahr 1996 höher als im weiteren Verlauf des Ökologischen Landbaus. Zwischen den Erfassungsterminen 1998, 2004 und 2011 existieren keine signifikanten Unterschiede der Mittleren Artenzahlen.

Zur Charakterisierung der Artendiversität ist neben der Artenanzahl, die Einbeziehung der Populationsdichten sinnvoll. Eine numerische Beschreibung von Pflanzengemeinschaftsstrukturen ist mit der Evenness, dem Verhältnis des Shannon-Indexes zum Maximalwert des Shannon-Indexes, möglich. Trotz deutlichen Anstiegs der Diasporenvorräte zeigen die Mengenverhältnisse zwischen den Arten beim Vergleich der Zeitabschnitte nur geringe Veränderungen. Im Frühjahr 1994 liegt der Evenness-Wert bei 0,70 und im Herbst 2011 bei 0,73. Nach dem starken Ansteigen von Artenzahl und Diasporendichte im Anbaujahr 1994 sinkt der Evenness-Wert auf 0,67 ab. 1998 erreicht er den im Beobachtungszeitraum registrierten Maximalwert von 0,78. Die Unterschiede der Evenness-Werte sind jedoch beim Wahrscheinlichkeitsniveau von 0,05 statistisch nicht bedeutsam.

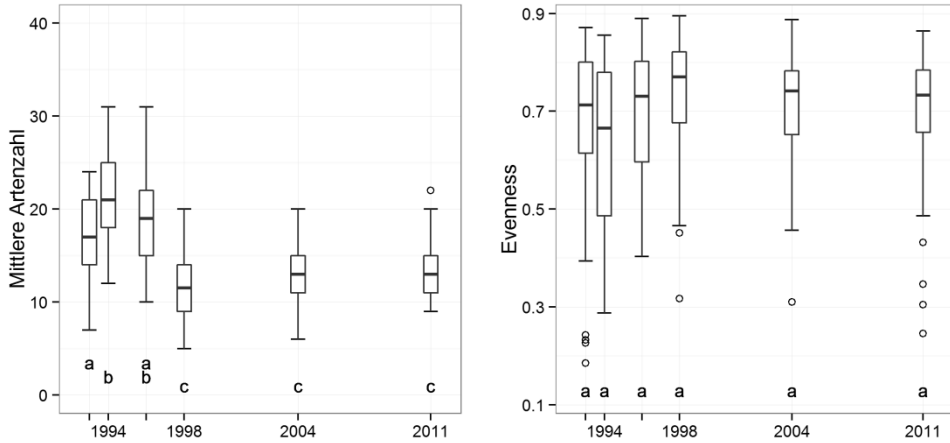


Abb. 3 Mediane mit Quartilen und Spannweiten für die Mittlere Artenzahl und die Evenness der Beobachtungsflächen in Abhängigkeit von der Dauer der Bewirtschaftung durch Ökologischen Landbau (Termine mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant bei $p \leq 0,05$).

Fig. 3 Medians with quartiles and spans for the mean species number and evenness on the sampling plots depending on the duration of organic farming (Dates with similar letters are not significantly different at $p \leq 0.05$).

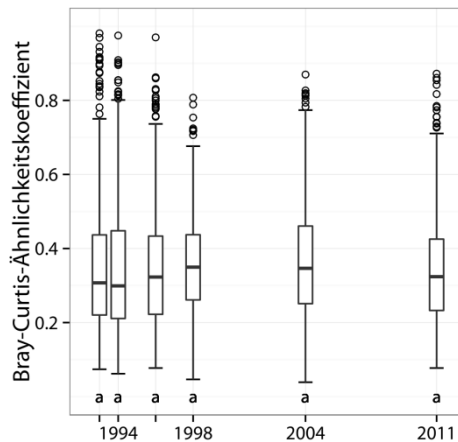


Abb. 4 Mediane mit Quartilen und Spannweiten für die Bray–Curtis-Ähnlichkeitskoeffizienten des Vergleichs der Diasporenvorräte der Beobachtungspartellen untereinander an den einzelnen Erfassungsterminen. (Termine mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant bei $p \leq 0,05$).

Fig. 4 Medians with quartiles and spans for the Bray–Curtis Similarity Coefficients of the comparison of the seed bank of each observation plots among themselves at different recording dates. (Dates with similar letters are not significantly different at $p \leq 0.05$).

Wesentlich für die Vielfalt der Segetalflora im Untersuchungsgebiet (β -Diversität) ist das Ausmaß der Differenzierung der Diasporenvorräte zwischen den einzelnen Beobachtungsflächen. Für den kombinierten Vergleich von Artenzusammensetzung und Populationsdichten zweier Pflanzengemeinschaften eignet sich der Bray-Curtis-Ähnlichkeitskoeffizient. Er gibt das Verhältnis der Summe der jeweils niedrigsten Populationsdichten gemeinsamer Arten zur Summe der

Populationsdichten des Vergleichsobjektes 1 und des Vergleichsobjektes 2 an. Das asymmetrische Ähnlichkeitsmaß bestimmt die Ähnlichkeit nur auf der Basis von Daten ungleich Null. Je ähnlicher die verglichenen Objekte sind, desto näher ist der Bray-Curtis-Koeffizient bei eins. In Prozent ausgedrückt entspricht er dem häufig verwendeten Percentage similarity-Massengemeinschaftskoeffizienten. In die Vergleiche der Diasporenvorräte der Beobachtungspartellen an einem Erfassungstermin untereinander und in die Bestimmung der Ähnlichkeit der Diasporenvorräte der einzelnen Beobachtungspartellen zwischen zwei Erfassungsterminen gehen je Beobachtungsfläche jeweils vier Teilflächen ein. Die Diasporenvorräte dieser Teilflächen unterscheiden sich an den Beobachtungsstandorten schon untereinander mit einem durchschnittlichen Ähnlichkeitskoeffizienten von 0,78. Dies hat eine Reduktion der Ähnlichkeitswerte aller durchgeführten Vergleiche zur Folge. Zwischen den Diasporenvorräten der nur ein bzw. zwei Jahre auseinanderliegenden Erfassungstermine sind die Unterschiede naturgemäß geringer, als die bei sechs- bzw. siebenjährigem zeitlichen Abstand. Zwischen den Diasporenvorräten der drei sechs- bzw. siebenjährigen Untersuchungsabschnitte beträgt die Ähnlichkeit noch ca. 40 %. Werden die Vorräte der Beobachtungsflächen untereinander innerhalb der einzelnen Erfassungsjahre verglichen, dann ergeben sich Ähnlichkeitskoeffizienten von ca. 0,3 (Abb. 4). In Bezug zu den zeitabhängigen Unterschieden sind die Differenzen zwischen den Diasporenvorräten der einzelnen Beobachtungsflächen je Erfassungstermin größer. Die Unterschiede zwischen den Beobachtungsstandorten bleiben in ihrer Größenordnung über den gesamten Untersuchungszeitraum nahezu konstant.

Diskussion

Das beobachtete Ansteigen der Gesamt-Diasporendichte, die Veränderungen des Auftretens und die Entwicklung der Dominanzstrukturen nach der Umstellung der zuvor intensiv genutzten Flächen auf Ökologischen Landbau, bestätigen die Ergebnisse der Untersuchungen anderer Autoren (SJURSEN, 2001; GRAZIANI *et al.*, 2012). Ein Aussetzen hochwirksamer chemischer Unkrautbekämpfungsmaßnahmen führt in der Regel zu starkem Unkrautaufreten. Die Segetalflora passt sich an die neuen Bedingungen an. Veränderungen der Strukturen der Unkrautgemeinschaften treten dabei schneller auf als Änderungen im Arteninventar (MAHN, 1984). Die Länge dieses Anpassungsprozesses hängt von der Dauer des Ökologischen Landbaus und vom Ausmaß der damit verbundenen Standortveränderungen ab. Flächen mit hoher Ertragsfähigkeit weisen hier ein hohes Pufferungsvermögen auf. Darüber hinaus liegt das Untersuchungsgebiet in einer Region, in der vor der Umstellung auf den Ökologischen Landbau schon seit dem 19. Jahrhundert intensive landwirtschaftliche Nutzung existierte. Zuwanderungen von Segetalarten werden durch die vorherrschende Flächennutzungsstruktur eingeschränkt. Der Artenzahl unmittelbar nach der Bewirtschaftungsumstellung folgt ein Minimum nach sieben Jahren, danach steigt die Artendiversität wieder etwas an. Dieser Anstieg der Artenzahlen mit fortgesetzter Dauer des Ökologischen Landbaus ist bei einer ausgeprägten Wertestreuung jedoch statistisch nicht bedeutsam. Auch BECKER und HURLE (1998) beschreiben eine, unter Praxisbedingungen, gegenüber den mittelfristig ökologisch bewirtschafteten Flächen nur geringfügig höhere Artenzahl bei langfristigem ökologischem Landbau.

Neben den, mit der Extensivierung pflanzenbaulicher Verfahren, einhergehenden veränderten Bedingungen wirkt sich insbesondere die Fruchtfolge auf die Diasporenvorräte aus. Auf den beobachteten Ackerschlägen orientierten sich Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung und Unkrautbekämpfung an den Erfordernissen einer wirtschaftlichen Betriebsführung und erfolgten unabhängig vom Untersuchungsprogramm. Während des Beobachtungszeitraumes reduzierte sich unter anderem der Umfang des unkrautunterdrückenden Ackerfütterbaus bis auf ca. 10 % im Abschnitt 2004 - 2011. Fruchtfolgen mit einem hohen Anbauumfang konkurrenzstarker Fruchtarten können jedoch auch unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus das Auffüllen des Diasporenvorrates verhindern (DUBOIS *et al.*, 1998; ALBRECHT, 2008).

Im Bodensamenpotential spiegeln sich Standort und Bewirtschaftung wider. Die beschriebenen Beobachtungen dokumentieren die, während 18 Jahren Flächennutzung durch Ökologischen Landbau, eingetretenen Veränderungen. Als charakteristisch zeigen sich die Beständigkeit des Spektrums der dominierenden Unkrautarten, die Aufrechterhaltung einer verhältnismäßig ausgeglichenen Dominanzstruktur und die Beibehaltung von Unterschieden zwischen den einzelnen Beobachtungsstandorten.

Literatur

- ALBRECHT, H., 2008: A Effects of introducing organic farming on the population ecology and diversity of arable weeds. J. Plant Diseases and Protection, Special Issue **XXI**, 357-362.
- BECKER, B. und K. HURLE, 1998: Unkrautflora auf Feldern mit unterschiedlich langer ökologischer Bewirtschaftung. Z. Pfl.Krankh. Pfl.Schutz, Sonderh. **XVI**, 155-161.
- DUBOIS, D., C. SCHERRER, L. GUNST, W. JOSSI und W. STAUFFER, 1998: Auswirkungen verschiedener Landbauformen auf den Bodenvorrat an Unkrautsamen in den Langzeitversuchen Chaiblen und DOK. Z. Pfl.Krankh. Pfl.Schutz, Sonderh. **XVI**, 67-74.
- ELLENBERG, H., H. E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER und D. PAULIBEN, 1992: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobot. **18**, 1-258.
- GRAZIANI, F., A. ONOFRI, E. PANNACCI, F. TEI und M. GUIDUCCI, 2012: Size and composition of weed seedbank in long-term organic and conventional low-input cropping systems. Europ. J. Agronomy **39**, 52-61.
- HILBIG, W. und G. BACHTHALER, 1992: Wirtschaftsbedingte Veränderungen der Segetalvegetation in Deutschland im Zeitraum 1950-1990. Angew. Bot. **66**, 192-200.
- KÖPKE, U., 2002: Umweltleistungen des Ökologischen Landbaus. Ökologie & Landbau **122**, 6-18.
- MAHN, E.-G., 1984: Structural changes of weed communities and populations. Vegetario **58**, 79-85.
- NEUMANN, H., O. GEWEKE, I. MAUSCHERNING, W. SCHÜTZ, R. LOGES, H. ROWECK und F. TAUBE, 2005: Effekte der Umstellung auf ökologischen Landbau auf die Segetalflora zweier Ackerbaubetriebe in Schleswig-Holstein. In: *Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*. HEß, J., RAHMANN, G. (Hrsg.), Kassel, University Press GmbH, 623-626.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2005: R: A language and environment for statistical computing. <http://www.r-project.org/>.
- SJURSEN, H., 2001: Change of the weed seed bank during the first complete six-course crop rotation after conversion from conventional to organic farming. Biological Agriculture and Horticulture **19**, 71-90.
- WITTMANN, C. und E. HINTZSCHE, 2000: Die Entwicklung der Segetalflora nach Umstellung auf öko-logischen Landbau. In: *Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau. Untersuchungen auf einem mitteldeutschen Trockenlößstandort*. HÜLSBERGEN, K.-J., W. DIEPENBROCK (Hrsg.), Halle (S.), UZU-Schriftenreihe, 239-258.

Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz bei Weizensorten - relevante Eigenschaften für den Integrierten Pflanzenschutz

Weed suppression and weed tolerance of wheat cultivars - relevant traits for Integrated Pest Management

Arnd Verschwele

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12,
38104 Braunschweig
arnd.verschwele@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.058

Zusammenfassung

An einem Sortiment aus 10 Winterweizen-Sorten wurde untersucht, ob es sortenabhängige Effekte in Bezug auf die Unkrautunterdrückung gibt und ob darüber hinaus Verunkrautung und Bekämpfungsmaßnahmen den Kornertrag der Sorten unterschiedlich beeinflussen. In zwei Versuchsserien von 2005 bis 2010 konnte eine weite sortenspezifische Spannbreite in Bezug auf Beschattung und Unkrautunterdrückung ermittelt werden. In Versuchsserie A (2005-2007) wurde mit $r=0,87$ ein enger Zusammenhang zwischen der Sprossmasse des Modellunkrauts *Sinapis alba* und dem Lichteinfall durch den Bestand nachgewiesen. In der konkurrenzschwachen Weizensorte Dekan betrug die Unkraut-Sprossmasse folglich mehr als das 5-fache im Vergleich zur konkurrenzstarken Sorte Cubus.

Die mechanische Unkrautbekämpfung mit dem Striegel reduzierte in allen Sorten der Versuchsserie A die Bestandesdichte. Diese Effekte waren in den Sorten Bussard und Pegassos signifikant stärker als in den anderen geprüften Sorten. Weil die Verunkrautung insgesamt gering war und negative Striegeleffekte über eine höhere Kornzahl/Ähre kompensiert wurden, war die Ertragswirkung durch den Striegeleinsatz entgegen der Hypothese in allen geprüften Sorten gleich.

In Versuchsserie B (2008-2010) konnte durch die Aussaat des Modellunkrauts *Sinapis alba* stärkere Konkurrenzeffekte realisiert werden. Folglich wurde in den Varianten der Unkrautbekämpfung (a) Striegel, (b) 50 % Herbizid, (c) 100 % Herbizid im Durchschnitt der geprüften 8 Winterweizen-Sorten signifikante Mehrerträge von $1,23 \text{ t*ha}^{-1}$ (Striegel) bis $2,08 \text{ t*ha}^{-1}$ (100 % Herbizid) erzielt. Die Ertragsverluste durch das Modellunkraut waren bei den Sorten Cubus und Limes mit 6 % bzw. 7 % geringer als bei Boomer mit 15 %. Somit konnte die sortenspezifische Eigenschaft Unkrauttoleranz nachgewiesen werden. Es traten außerdem signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Sorte und Unkrautbekämpfung auf. Der Ertragszuwachs durch die Bekämpfungsmaßnahmen (relativ zu Modellunkraut) betrug bei Bussard 5 % und lag damit deutlich unter dem Ergebnis der Sorte Impression (11 % Ertragszuwachs). Die Hypothese, dass Ertragseffekte durch mechanische oder chemische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen abhängig von der Weizensorte sein können, konnte somit bestätigt werden. Tendenziell waren diese Ertragseffekte umso stärker, je geringer die Konkurrenzkraft der Sorte war.

Stichwörter: Ertragsparameter, Herbiziddosis, Lichteinfall, Striegeln, Unkrautunterdrückung, Unkrauttoleranz, Züchtung

Abstract

An assortment of 10 winter wheat cultivars was tested for specific effects on weed suppression. Furthermore cultivar specific effects of weed infestation and weed control measures on the crop yield were investigated. Two trial series conducted from 2005 to 2010 demonstrated a wide cultivar specific range of shading capacity and weed suppression. Light penetration and the dry matter of the model weed *Sinapis alba* were highly correlated ($r=0.87$) in trial series A (2005-2007). Consequently, the weed dry matter in the less competitive cultivar Dekan was 5 times higher compared to the weak competitor Cubus.

Mechanical weed control by harrowing reduced ears density of all cultivars tested in trial series A. These reductions were significantly higher in the cultivars Bussard and Pegassos compared to the other cultivars. Since the weed infestation was low and negative crop effects by harrowing could be compensated by a higher number of kernels/ear, the yield effects were the same for all cultivars. Contrary to the hypothesis, a cultivar specific yield response by harrowing could not be assessed.

Higher competition effects by sowing the model weed *Sinapis alba* could be realised in trial series B (2008-2010). Consequently, the control measures (a) harrowing (b) 50% herbicide (c) 100% herbicide resulted in

significantly higher crop yields ranging from 1.23 t*ha⁻¹ (harrowing) to 2.08 t*ha⁻¹ (100% herbicide). The yield reduction caused by the model weed was not the same for all cultivars and was lower for the cultivars Cubus and Limes (6% and 7%) compared to Boomer (15%). Thus, weed tolerance could be identified as a cultivar specific trait. There were significant interactions between cultivar and weed control measures: The yield increase (relative to model weed) was 5% for Bussard, which was much lower compared to the treatment effects on the cultivar Impression (11%). The hypothesis that yield effects by mechanical and chemical weed control may be affected by the wheat cultivar, could be confirmed. These yield effects by trend increased while the competitiveness of the cultivar decreased.

Keywords: Breeding, harrowing, herbicide dosage, light penetration, weed suppression, weed tolerance, yield parameter

Einleitung

Vorbeugende und indirekte Maßnahmen bilden die Grundlage der Integrierten Unkrautbekämpfung. Sie sind nach Guter Fachlicher Praxis vorrangig vor der direkten Bekämpfung mit Herbiziden zu berücksichtigen. Obwohl die Grundprinzipien seit langem bekannt sind, haben nichtchemische Methoden z. B. durch die europäische Gesetzgebung, aber auch durch die zunehmende Herbizidresistenz-Problematik bei Unkräutern an Bedeutung gewonnen. Um vom Herbizideinsatz unabhängiger zu sein, sind konkurrenzstarke Getreidebestände eine wesentliche Grundvoraussetzung. Dass hier die Sortenwahl einen erheblichen Beitrag leisten kann, ist in einer Vielzahl von Forschungsarbeiten festgesellt worden (CHRISTENSEN, 1995; EISELE, 1992; LEMERLE *et al.*, 2001; VERSCHWELE und NIEMANN, 1990). Praktische Anwendung hat die Sortenwahl mit dem Ziel der Unkrautunterdrückung vor allem im Ökologischen Landbau gefunden. SCHMIDTKE *et al.* (2013) konnten zeigen, dass auch das aktuelle Weizensortiment in Bezug auf Beschattung und Unkrautunterdrückung eine weite Spannbreite aufweist.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, neben der Eigenschaft Unkrautunterdrückung weitere sortenspezifische Faktoren zu identifizieren, die einen Beitrag zum Unkrautmanagement leisten können. So ist bislang nicht ausreichend bekannt, ob Winterweizensorten auf Verunkrautung in gleicher Weise mit Ertragsrückgang reagieren. Diese sortenspezifische Eigenschaft, im folgenden Unkrauttoleranz genannt, ist tendenziell zum Beispiel für Kartoffeln (COLQUHOUN *et al.*, 2009) und Gerste (DHIMA *et al.*, 2010) nachgewiesen worden. RYAN *et al.* (2009) fanden, dass unkrautbedingte Ertragseffekte vom Produktionsverfahren abhängen und ermittelten Sortenunterschiede im Kornertrag zwischen Ökologischen und konventionellem Landbau. In den zurückliegenden Forschungsarbeiten wird jedoch selten zwischen Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz unterschieden.

Eng verbunden ist damit die Frage, ob Ertragseffekte durch eine Unkrautbekämpfung mit Striegel und Herbizideinsatz unabhängig von der Weizensorte sind oder ob es hier ebenfalls sortenspezifische Reaktionen gibt. HANSEN *et al.* (2007) und RASMUSSEN *et al.* (2004) stellten fest, dass sowohl Bekämpfungserfolg als auch die Kulturschädigung (Striegelselektivität) durch Striegeln im Nachauflauf bei Getreidesorten unterschiedlich war. Ähnliche Effekte sollten im Prüfsortiment untersucht werden. Vor allem sollte untersucht werden, ob Winterweizen-Sorten in ihrem Ertragsaufbau spezifisch auf Striegeleinsätze reagieren und Ertragsverluste ggf. über den Ertragsaufbau kompensieren können.

Material und Methoden

Zur Untersuchung sortenspezifischer Konkurrenz- und Ertragseffekte wurden zwei Versuchsserien mit insgesamt 10 Winterweizen-Sorten im Freiland angelegt. Das Prüfsortiment sollte in Bezug auf Bestandes- und Ertrageigenschaften ein breites Spektrum widerspiegeln. Entsprechende Informationen stammten aus eigenen Vorversuchen, Bonituren von Landessortenversuchen sowie aus den Beschreibenden Sortenlisten (BUNDESSORTENAMT, 2004, 2009). Wegen der grundsätzlichen Fragestellungen wurden die Sorten nicht nach ihrer aktuellen Anbaubedeutung ausgewählt, sondern nach ihren Wuchseigenschaften. In Versuchsserie A wurde schwerpunktmäßig die Beziehung zwischen Beschattungsvermögen der Sorten und Unkrautwachstum analysiert.

Außerdem sollte hier geprüft werden, wie sich Striegelmaßnahmen auf die Ertragseigenschaften und den Kornertrag von Winterweizensorten auswirken. Die Versuchsserie B sollte vorrangig klären, ob nicht nur Striegel- sondern auch Herbizidmaßnahmen sortenspezifische Wirkungen haben und ob die damit erzielten Ertragseffekte auch abhängig von der Konkurrenzkraft der Sorten sind.

Versuchsserie A:

Von 2005 bis 2007 wurden 3 Feldversuche auf unterschiedlichen Versuchsflächen des Julius Kühn-Instituts östlich von Braunschweig durchgeführt. Diese Versuche waren als zweifaktorielle Blockanlage mit 4 Wiederholungen mit dem Faktor Winterweizensorte (Batis, Bussard, Cubus, Dekan, Limes, Pegassos) und dem Faktor Unkrautbekämpfung (Striegeln, Unbehandelt, Modellunkraut) angelegt. Dabei wurde der Striegel im Nachauflauf zweimalig zwischen dem 1.4. (BBCH 14-23) und 5.5. (BBCH 30-31) eingesetzt und zwar nur auf Flächen mit natürlicher Verunkrautung. In den Varianten Unbehandelt und Modellunkraut erfolgte keine Unkrautbekämpfung. Die Parzellengröße betrug 6 m * 15 m; die Aussaat und die sonstigen Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten praxisüblich und einheitlich über alle Sorten. Um eine in Bezug auf Dichte und Verteilung gleichmäßige Verunkrautung zu erreichen, erfolgte die Aussaat eines Modellunkrauts zu Vegetationsbeginn (*Sinapis alba*) mit einer angestrebten Dichte von 180 Pflanzen/m². Folgende Parameter wurden erfasst: Dichte und Spross-Trockenmasse von *Sinapis alba*, Lichteinfall am Boden (photosynthetisch aktive Strahlung, PAS) zu 2-3 Terminen (BBCH 21-25, 30-32, 51-59). Abschließend wurde in allen Varianten der Kornertrag sowie die Ertragsparameter Ähren je m², Körner je Ähre und Tausendkornmasse erfasst.

Versuchsserie B:

Von 2008 bis 2010 wurden 3 weitere Feldversuche auf dem JKI-Versuchsgut mit einem ähnlichen Versuchsdesign angelegt. Es wurden 8 Winterweizensorten geprüft (Bussard, Cubus, Dekan, Impression, Limes, Pegassos, Tiger, Tommi). Der zweite Faktor Unkrautbekämpfung umfasste folgende Varianten: Unbehandelt, Modellunkraut, Striegel, Herbizid mit 50 % und 100 % der Aufwandmenge. Gestriegelt wurde nur einmalig zwischen dem 16. und 22.4. (BBCH 21-25).

Folgende Herbizide wurden situationsbezogen je nach Jahr zwischen dem 2.4. und 21.4. appliziert (= 100 % Herbizid): 2008: 300 g/ha Atlantis WG + 0,7 l/ha Starane XL, 2009: 50 g/ha Artus + 60 g/ha Attribut, 2010: 50 g/ha Artus. Die Parzellengröße betrug 3 m * 20 m; die Aussaat und die sonstigen Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten praxisüblich und einheitlich über alle Sorten. In Bezug auf Modellunkraut und Erfassung der sorten- und unkrautspezifischen Parameter waren diese Versuche identisch zu Versuch A.

Zusammenfassend werden die Sorteneigenschaften mit folgenden Kennzahlen beschrieben und ausgewertet:

- a) Unkrautunterdrückung: Sprossmasse des Modellunkrauts und der natürlichen Verunkrautung, Korrelation zwischen Lichteinfall auf den Boden und Unkraut-Sprossmasse (Versuchsserie A)
- b) Striegelselektivität: relativer Kornertrag nach Striegeln (Variante Striegel) im Vergleich zu schwacher Verunkrautung (Variante Unbehandelt), relative Veränderung der Ertragsparameter durch Striegeln im Vergleich zu Unbehandelt (Versuchsserie A)
- c) Unkrauttoleranz: relativer Kornertrag bei starker Verunkrautung (Variante Modellunkraut) im Vergleich zu schwacher Verunkrautung (Variante Unbehandelt), relativer Kornertrag bei abgestufter Herbizidanwendung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Versuchsserie B)

Die durchschnittliche Niederschlagsmenge im Versuchszeitraum 2005-2010 lag mit 663 mm über dem langjährigen Mittel für den Standort Braunschweig (Minimum: 474 mm, Maximum: 882 mm). Die durchschnittliche Jahrestemperatur lag im selben Zeitraum bei 9,8 °C (Minimum: 8,4 °C, Maximum: 10,5 °C). Die Versuchsstandorte weisen ein hohes Ertragspotenzial auf mit den vorherrschenden Bodenarten sandiger Lehm und stark schluffiger Ton.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Statgraphic Centurion (Statpoint Technologies Inc., USA). Über multifaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) wurden Haupt- und

Wechselwirkungen der Faktoren Sorte, Behandlung und Jahr und das entsprechende Signifikanzniveau ermittelt. Soweit möglich, sind Grenzdifferenzen über Tukey-Tests ($p < 0,05$) angegeben. Bei Mittelwertvergleichen nach nichtparametrischen Verfahren kam der Kruskal-Wallis-Test zum Einsatz. Mittels Spearman-Rangkorrelation wurde analysiert, ob die Weizensorten unterschiedlich auf die Behandlungen reagierten. Für die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung, sowie für Korrelations- und Regressionsanalysen wurde MS Excel 2007 verwendet.

Ergebnisse

Versuchsserie A:

Weil die Weizensorten nach ihren morphologischen Eigenschaften ausgewählt wurden und eine weite Spannbreite in Bezug auf ihre Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern zeigen sollten, konnten erwartungsgemäß signifikante Unterschiede in Bezug auf den Lichteinfall auf den Boden (PAS %, siehe Abb. 1) festgestellt werden. Die Beschattungskraft der Sorten nahm im Durchschnitt der Versuchsjahre in folgender Reihenfolge ab (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede nach Kruskal-Wallis-Test):

$$\text{Cubus}^a > \text{Bussard}^b > \text{Limes}^b > \text{Pegassos}^{bc} > \text{Dekan}^{bc} > \text{Batis}^c$$

Sorteneffekte traten in stärkerer Form bei der Unkraut-Sprossmasse (gemessen am Modellunkraut *Sinapis alba*) auf: Das Modellunkraut trat in einer Dichte von 164 Pflanzen/m² auf, die allerdings in allen Jahren schwach entwickelt waren (Spross-TM: 39 g *m⁻²). Die Verunkrautung in der Sorte Dekan betrug mehr als das 5-fache der Sorte Cubus. Eine ähnlich schwache Konkurrenzkraft zeigte die Weizensorte Batis. Die Rangfolge war im Mittel der drei Versuche wie folgt:

$$\text{Cubus}^a > \text{Pegassos}^{ab} \text{Limes}^{ab} > \text{Bussard}^{ab} > \text{Batis}^c > \text{Dekan}^c$$

Neben diesen deutlichen Sorteneffekten bei den Beschattungs- und Unkrautdaten traten auch signifikante Jahreseffekte sowie signifikante Wechselwirkungen von Sorte und Jahr auf. Die Abstufung der Sorten war folglich nicht in allen Jahren gleich, dennoch stellte sich die Sorte Cubus stets als die konkurrenzstärkste Sorte heraus, während Batis und Dekan in allen Jahren die stärkste Lichttransmission und Verunkrautung aufwiesen. Die Sorten Bussard, Limes und Pegassos können als durchschnittlich beschrieben werden. Die weitere Auswertung ergab einen engen Zusammenhang ($r = 0,87$) zwischen dem mittleren Lichteinfall durch den Bestand einer Sorte und der Sprossmasse des Modellunkrauts (Abb. 1).

Die Kornerträge der Weizensorten unterschieden sich signifikant. Allerdings gab es keine statistisch gesicherten Ertragseffekte durch das Striegeln und auch keine Wechselwirkungen zwischen Sorte und Striegel, d.h. die Ertragseffekte durch das Striegeln waren entgegen der Hypothese in allen Sorten gleich. Die Verunkrautung war jedoch in den Vergleichsparzellen mit der natürlichen Verunkrautung sehr gering. Es traten hier im Durchschnitt 31 Unkräuter*m⁻² auf, davon vor allem *Viola arvensis* und *Veronica hederifolia*. Daher kann man davon ausgehen, dass die Ertragseffekte in diesen Versuchen fast ausschließlich auf die Striegelmaßnahmen und weniger auf Unkrautkonkurrenz zurückzuführen sind. Unter Bedingungen mit starker Verunkrautung treten aber immer Kombinationseffekte auf: zum einen verringert der Striegeleinsatz den unkrautbedingten Ertragsverlust, zum anderen lässt sich eine Kulturschädigung (z. B. Verlust an Blattflächen und Trieben) durch die mechanische Einwirkung nicht vermeiden.

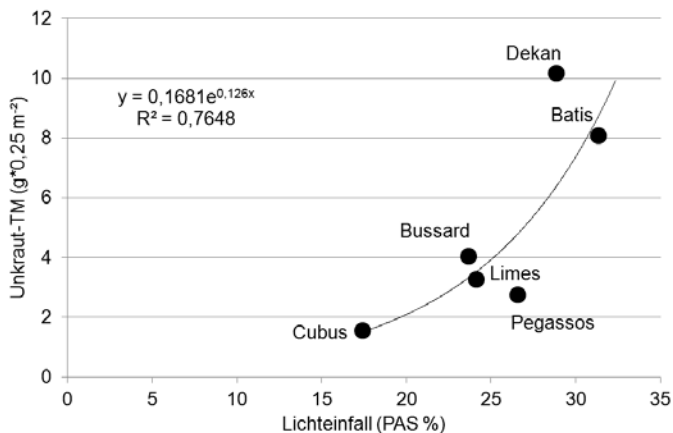


Abb. 1 Zusammenhang zwischen Lichteinfall durch den Bestand (PAS %) und Modellunkraut-TM (g * 0,25 m⁻²) bei 6 Winterweizensorten, Mittelwerte 2005-2007.

Fig. 1 Relationship between light penetration (PAS %) and model weed DM (Unkraut-TM (g * 0.25 m²)) for 6 winter wheat cultivars, mean values 2005-2007.

Die Versuche belegen, dass das Striegeln die Ertragsparameter der Sorten beeinflusste. So wurde die Bestandesdichte im Durchschnitt aller Sorten signifikant reduziert, wobei die Anzahl von Trieben bzw. Ähren umso stärker reduzierte je höher die Bestandesdichte der Sorte war. Die Sorten Bussard und Pegassos reagierten signifikant stärker als andere, so dass hier von einer sortentypischen Reaktion auf die Striegelmaßnahme gesprochen werden kann (Tab. 1). Jedoch konnten die Sorten diesen negativen Effekt zumindest teilweise über eine höhere Kornzahl je Ähre kompensieren, so dass der Kornertrag schließlich nicht signifikant durch den Striegeleinsatz beeinflusst wurde. (7,07 t*ha⁻¹). Die Ertragseffekte durch das Striegeln wichen zwischen den Sorten trotz einer Spannweite von -0,22 bis +0,15 t*ha⁻¹ nicht signifikant voneinander ab.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass in der Versuchsserie A signifikante Sorteneffekte in Bezug auf Beschattungsvermögen, Unkrautunterdrückung und beim Ertragsaufbau nachgewiesen werden konnten. Unkrautbedingte Ertragsverluste traten in den Versuchsjahren 2005-2007 nicht auf, sodass Aussagen über Sortenunterschiede hierzu nicht möglich sind.

Tab. 1 Einfluss eines zweimaligen Striegeleinsatzes im Nachauflauf auf die Ertragsparameter und den Kornertrag von 6 Winterweizensorten im Vergleich zu Unbehandelt, Mittelwerte 2005-2007.

Tab. 1 Effect of two times post emergence harrowing on yield parameters and yield of 6 winter wheat cultivars compared to Untreated, mean values 2005-2007.

Sorte	Ähren/m ² (n)	Körner/Ähre (n)	TKM (g)	Kornertrag (t*ha ⁻¹)
Batis	-41	+3	-1	-0,13
Bussard	-77*	+4	-1	+0,04
Cubus	+18	-1	0	-0,10
Dekan	-14	+1	-2	-0,22
Limes	-11	+2	-1	+0,11
Pegassos	-35*	+1	0	+0,15
Mittelwert in Unbehandelt	493	24	42	7,09

* signifikante Unterschiede nach Tukey-Test (p<0,05)

Versuchsserie B

In den Versuchen, die zwischen 2008 und 2010 mit 8 Winterweizensorten durchgeführt wurden, kam es im Gegensatz zu Versuchsserie A durch höhere Unkrautkonkurrenz in den Varianten Modellunkraut und Unbehandelt zu Ertragseinbußen. Folglich kam es bei allen Bekämpfungsmaßnahmen (Striegeln, 50 % Herbizid und 100 % Herbizid) zu signifikanten Ertragssteigerungen im Vergleich zur Variante Modellunkraut (Tab. 2).

Tab. 2 Kornertrag ($t \cdot ha^{-1}$) von 8 Winterweizen-Sorten nach unterschiedlichen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen (Striegel, 50 % Herbizid, 100 % Herbizid), Mittelwerte 2008-2010.

Tab. 2 Crop yield ($t \cdot ha^{-1}$) of 8 winter wheat cultivars after different weed control measures (harrowing, 50% herbicide, 100% herbicide), mean values 2008-2010.

Sorte	Modellunkraut	Unbehandelt ¹	Striegel	50 % Herbizid	100 % Herbizid
Boomer	7,53	8,86	9,02	9,85	9,81
Bussard	7,20	8,05	8,13	8,60	8,72
Cubus	7,87	8,40	8,70	9,41	9,81
Impression	7,48	8,42	8,95	9,67	9,76
Limes	7,72	8,33	8,83	9,51	9,87
Pegassos	7,00	8,31	8,37	9,09	9,34
Tiger	7,23	8,23	8,65	9,01	9,43
Tommi	7,66	8,74	8,84	9,54	9,61
Mittelwert	7,46	8,42	8,69	9,34	9,54
GD Tukey _{0,05}			0,64		

¹ Flächen mit natürlicher Verunkrautung (Mittelwert: 127 Unkräuter $\cdot m^{-2}$ zu Vegetationsbeginn, vorrangig VERSS, VIOAR und ALOMY)

Tab. 3 Spearman-Korrelationskoeffizient (r_s) und statistische Signifikanz (p) für den paarweisen Vergleich von Behandlungen in Bezug auf den Kornertrag von 8 Winterweizen-Sorten, Mittelwerte 2008-2010.

Tab. 3 Spearman's correlation coefficient (r_s) and statistical significance (p) for paired comparisons of treatments of the yield of 8 winter wheat cultivars, mean values 2008-2010.

Behandlung	Modellunkraut	Unbehandelt	Striegel	50 % Herbizid	100 % Herbizid
Modellunkraut	r_s	0,5476	0,5238	0,4762	0,8503
	p	0,1474	0,1658	0,2077	0,0245
Unbehandelt	r_s	0,5476 ¹	0,9286	0,9524	0,6108
	p	0,1474	0,0140	0,0117	0,1061
Striegel	r_s	0,5238 ¹	0,9286	0,9762	0,6946
	p	0,1658	0,0140	0,0098	0,0661
50 % Herbizid	r_s	0,4762 ¹	0,9524	0,9762	0,6707
	p	0,2077	0,0117	0,0098	0,0760
100 % Herbizid	r_s	0,8503	0,6108 ¹	0,6946 ¹	0,6707 ¹
	p	0,0245	0,1061	0,0661	0,0760

1) Rangfolge der Sorten in den Behandlungen unterschiedlich für $p < 0,05$

Die mehrfaktorielle Varianzanalyse ergab, dass im Mittel der 8 Weizensorten alle drei Bekämpfungsverfahren zu signifikanten Ertragssteigerungen führten. Die starke Konkurrenz durch das Modellunkraut *Sinapis alba* verursachte signifikante Ertragsverluste im Vergleich zur gering verunkrauteten Variante Unbehandelt. Allerdings waren diese Verluste bei Cubus und Limes mit

6 % bzw. 7 % geringer als z. B. bei Boomer mit 15 %. Die Striegelmaßnahmen wirkten erwartungsgemäß insgesamt schwächer als die Herbizidbehandlungen. Mit Ausnahme von Boomer profitierten alle Sorten aufgrund der hohen Verunkrautung zusätzlich von der Steigerung von 50 % auf 100 % der verwendeten Herbiziddosis.

Die Analyse mittels Spearman-Rangkorrelation ergab, dass die Ertragsreaktion (Tab. 2) der Weizensorten für folgende paarweisen Vergleiche identisch war: Modellunkraut - 100 % Herbizid, Unbehandelt -Striegel, Unbehandelt -50 % Herbizid, Striegel -50 % Herbizid (Tab. 3).

Mit großer Wahrscheinlichkeit ($p < 0,08$) wirkten sämtliche geprüfte Bekämpfungsmaßnahmen auf die Weizensorten in gleicher Weise, während die Sorten-Rangfolge bei starker Unkrautkonkurrenz (Variante Modellunkraut) sich von der Rangfolge im Ertrag bei geringer Verunkrautung (Unbehandelt) und nach Striegeln unterschied.

Die relativen Ertragseffekte durch die Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung waren sortenabhängig und wiesen eine weite Spannweite auf: So war der Ertragszuwachs (% zu Modellunkraut) bei Bussard mit 5,3 % signifikant geringer als bei der Sorte Impression (11,8 %). Auch in Bezug auf die Unkrautunterdrückung unterschieden sich die Weizensorten deutlich: die Sprossmasse des Modellunkrauts *Sinapis alba* lag bei Bussard und Cubus um 17 % bzw. 16 % unter dem Mittelwert aller Sorten, während sie bei Limes und Impression 15 % bzw. 16 % darüber lagen (Abb. 2).

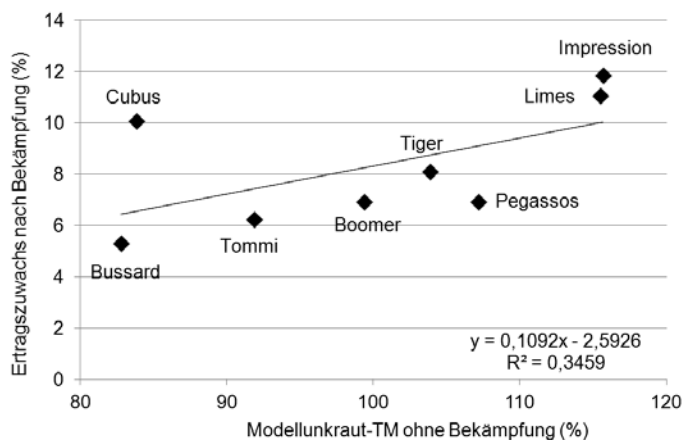


Abb. 2 Zusammenhang zwischen Modellunkraut-TM ohne Bekämpfung (%) und Ertragszuwachs durch Bekämpfung (Mittelwerte von Striegel, 50 % Herbizid, 100 % Herbizid) bei 8 Winterweizensorten), Mittelwerte von 2008-2010.

Fig. 2 Relationship between model weed DM without control weed (Modellunkraut-TM ohne Bekämpfung (%)) and yield increase by weed control (mean values of harrowing, 50% herbicide, 100% herbicide) for 8 winter wheat cultivars), mean values from 2008-2010.

Darüber hinaus wird in Abbildung 2 deutlich, dass die geprüften Weizensorten umso stärker mit Ertragszuwachs reagierten, je höher die Modellunkraut-Sprossmasse ohne Behandlung war (dargestellt als prozentuale Abweichung zum Mittelwert aller Sorten). Ertragszuwächse durch die Unkrautbekämpfung waren demnach sortenabhängig und tendenziell umso größer, je geringer die Konkurrenzskraft der Weizensorte war.

Diskussion

Die Ergebnisse bestätigen, dass Winterweizen-Sorten mit starker Beschattungsleistung und Konkurrenzskraft einen wesentlichen Beitrag zur Integrierten Unkrautregulierung leisten können.

Obwohl in den vorliegenden Untersuchungen nur 10 Winterweizen-Sorten geprüft worden sind, kann davon ausgegangen werden, dass im aktuellen Weizensortiment die Spannweite in Bezug auf Unkrautunterdrückung groß ist. Das zeigen eigene Bonituren sowie Untersuchungen von SCHMIDTKE *et al.* (2013). Bei der Beschattung traten auch deutliche Jahreseffekte auf, Standorteinflüsse, konnten im Rahmen dieses Vorhabens nicht ausreichend geprüft werden. Weil aber sortentypische homogene und beständige Merkmale wie Blatthaltung und Wuchshöhe die Konkurrenzskraft bestimmen, sind Einstufungen der Weizensorten weitgehend unabhängig vom Standort. MEYERCORDT *et al.* (2012) konnten im orthogonalen Vergleich an über 20 Standorten im Bundesgebiet eindeutig konkurrenzstarke von schwachen Winterweizen-Sorten trennen. Neben den bekannten morphologischen Merkmalen können unter ungünstigen Witterungsbedingungen zusätzlich Eigenschaften wie die Winterfestigkeit für die Unkrautunterdrückung einer Sorte entscheidend sein. Wechselwirkungen mit der Anbautechnik sind ebenfalls zu erwarten. Die Blatthaltung spielt z. B. für die Konkurrenzkraft eines Getreidebestandes bei weiteren Reihenabständen oder lückigen Beständen eine größere Rolle als die Wuchshöhe (DREWS *et al.*, 2009).

Insgesamt liegen umfangreiche Daten und Erkenntnisse vor, die eine Bewertung der sorteneigenen Konkurrenzkraft ermöglichen. Dagegen bestehen Wissenslücken darüber, wie Sorten ihrerseits durch Unkräuter und durch Bekämpfungsmaßnahmen beeinflusst werden. Während die eingesetzten Herbizide, zumindest soweit in den Versuchen visuell feststellbar, nicht phytotoxisch wirkten, reduzierte der zweifache Striegeleinsatz im Nachauflauf die Bestandesdichte fast aller Sorten. Selektivitätsunterschiede zwischen den Sorten traten zwar bei der Bestandesdichte auf, in Bezug auf den Kornertrag verhielten sich aber alle Sorten gleich. Für Weizensorten mit hohem Bestockungsvermögen war das Striegeln nicht verträglicher als für die anderen geprüften Sorten. RASMUSSEN *et al.* (2004), die bei Gerste Sorteneffekte durch Striegeln feststellen konnten, fanden heraus, dass tendenziell Sorten mit hohem Blattflächenindex stärker geschädigt wurden. Ob diese Art der kontraproduktiven Beziehung auch für das aktuelle Winterweizen-Sortiment in Deutschland zutrifft, ist bislang nicht bekannt. Aufgrund der Vielzahl von Einflussgrößen für eine effektive, aber kulturschonende Unkrautbekämpfung mittels Striegeln, z. B. Behandlungszeitpunkt, Fahrgeschwindigkeit, Geräteeinstellung, Bodenzustand scheint der Sortenfrage für die Striegelelektivität jedoch nach derzeitigem Kenntnisstand eine geringe Bedeutung zuzukommen.

Mit Ausnahme der Weizensorte Cubus gab es im geprüften Sortiment keine weitere Sorte, die bei den Eigenschaften Unkrautunterdrückung und Striegelelektivität weder positiv noch negativ einheitlich auffiel. Auch HANSEN *et al.* (2007) und Rasmussen *et al.* (2009) stellten fest, dass diese beiden Eigenschaften nicht miteinander korreliert sind.

Neben den sortenbedingten Eigenschaften Unkrautunterdrückung und Striegelempfindlichkeit wurde der Frage nachgegangen, ob Winterweizen-Sorten sich in Bezug auf Unkrauttoleranz unterscheiden. In der Literatur wird oft nicht zwischen den Begriffen Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz unterschieden. Für einige Kulturen wurde eine sortentypische Unkrauttoleranz jedoch nachgewiesen, z. B. für Kartoffeln (COLQUHOUN *et al.*, 2009) und Gerste (DHIMA *et al.*, 2010). In den eigenen Versuchen konnten mit Cubus und Limes zwei Sorten identifiziert werden, bei denen starker Unkrautdruck (durch das Modellunkraut *Sinapis arvensis*) geringere Ertragseinbußen verursachte als bei den anderen Sorten. Bezieht man zusätzlich die Unkrauttoleranz in die Gesamtbewertung mit ein, gibt es mit Cubus nur eine Sorte, die sich in Bezug auf alle drei Konkurrenz-Eigenschaften positiv hervorhebt.

Auf Basis der eigenen Versuchsergebnisse und anderer Forschungsarbeiten kommt der Unkrautunterdrückung durch Sortenwahl offensichtlich eine größere Bedeutung zu als die Eigenschaften Striegelelektivität und Unkrauttoleranz. Über visuelle Bonituren kann die sortenspezifische Konkurrenzkraft vergleichsweise einfach und verlässlich bonitiert werden (EISELE, 1992; VERSCHWELE, 1994). Entsprechende Empfehlungen für Wertprüfungen und Landessortenversuche sind zwar bereits von Experten erarbeitet worden (STEINBERGER, 2003),

bislang werden die relevanten Merkmale jedoch nicht systematisch erfasst und, z. B. über die Beschreibende Sortenliste, publiziert.

So wie der Ökologische Landbau die Sortenwahl zur Unkrautunterdrückung bereits nutzt, sollte auch der Integrierte Landbau dieses Instrument stärker als bisher berücksichtigen. Damit werden auch gesetzliche Anforderungen erfüllt, die sich z. B. aus der Richtlinie 2009/128/EG (über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden) ergeben. Schließlich sollte die Sortenwahl als Baustein für ein umfassendes Herbizid-Resistenzmanagement genutzt werden, um die Abhängigkeit von Herbiziden zu verringern. So heben LEMERLE *et al.* (2001) und LUTMAN *et al.* (2013) die Bedeutung der Sortenwahl für die Bekämpfung resistenzgefährdeter Unkrautarten wie *Lolium rigidum* und *Alopecurus myosuroides* hervor. Sofern eine Resistenzgefahr vorliegt, unterstützen konkurrenzstarke Sorten die notwendigen hohen Wirkungsgrade. Besteht jedoch kein derartiges Risiko, sollte die Sortenwahl dafür genutzt werden, die Herbizid-Aufwandmenge zu reduzieren. Frühere Untersuchungen ergaben, dass in einer konkurrenzstarken Weizensorte bereits ein Drittel der zugelassenen Herbiziddosis denselben hohen Wirkungsgrad erzielte, der in einer konkurrenzschwachen Sorte nur mit der vollen Dosis zu erreichen war (Verschwele, 1994).

Um das Potenzial von Weizensorten für den Integrierten und Ökologischen Landbau auszuschöpfen, sollten die Eigenschaften Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz auch in der Züchtung beachtet werden.

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Frau Martina Kracht und Herrn Werner Löhr für die Unterstützung und technische Durchführung der Versuche.

Literatur

- BUNDESSORTENAMT (Hrsg.), 2004,2009: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte, Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- CHRISTENSEN, S., 1995: Weed suppression ability of spring barley varieties. *Weed Research* **35**, 241–247.
- COLQUHOUN, J.B., C.M. KONIECZKA, und R.A. RITTMAYER, 2009: Ability of Potato Cultivars to Tolerate and Suppress Weeds. *Weed Technology* **23**, 287–291.
- DHIMA, K., I. VASILAKOGLU, T. GATSIS und I. ELEFTHEROHORINOS, 2010: Competitive interactions of fifty barley cultivars with *Avena sterilis* and *Asperugo procumbens*, *Field Crops Research* **117**, 90–100.
- DREWS, S.; D. NEUHOFF und U. KÖPKE, 2009: Weed suppression ability of three winter wheat varieties at different row spacing under organic farming conditions. *Weed Research* **49**, 526–533.
- EISELE, J., 1992: Sortenwahl bei Winterweizen im Organischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung der morphologisch bedingten Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern. Dissertation, Universität Bonn, Institut für Organischen Landbau.
- HANSEN P.K., I.A. RASMUSSEN, N. HOLST und C. ANDREASEN, 2007: Tolerance of four spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties to weed harrowing, *Weed Research* **47**, 241–251.
- LEMERLE, D., G.S. GILL, C.E. MURPHY, S.R. WALKER, R.D. COUSENS, S. MOKHTARI, S. J. PELTZER, R. COLEMAN und D.J. LUCKETT, 2001: Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weeds. *Australian Journal of Agricultural Research* **52**, 527–548.
- LUTMAN P.J.W., S.R. MOSS, S. COOK und S.J. WELHAM, 2013: A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **53**, 299–310.
- MEYERCORDT, A.; M. MÜCKE, K. SEIDEL, G. LUX, K. SCHMIDTKE und B. WUNDERLICH, 2012: Verbesserung der Vergleichbarkeit gemeinsamer Öko-Landessortenversuche und deren Auswirkung auf Ökowerkprüfungen und die Fortschreibung Wert bestimmender Sorteneigenschaften in der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes, Abschlussbericht zum Verbundvorhaben BOELN 2809OE 009 und BOELN 2809OE 010, www.orgprints.org/22860/
- RASMUSSEN, J., J.I. KURTZMANN und A. JENSEN, 2004: Tolerance of competitive spring barley cultivars to weed harrowing. *Weed Research* **44**, 446–452.
- RASMUSSEN, J., H. H. NIELSEN und H. GUNDERSEN, 2009: Tolerance and selectivity of cereal species and cultivars to post emergence weed harrowing. *Weed Science* **57**, 338–345
- RYAN, M.R., R.G. SMITH, J.R. MORTENSEN, J.R. TEASDALE, W.S. CURRAN, R. SEIDEL und D.L. SHUMWAY, 2009: Weed–crop competition relationships differ between organic and conventional cropping systems. *Weed Research* **49**, 572–580.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

- SCHMIDTKE, K., B. WUNDERLICH und A. MEYERCORDT, 2013: Lassen sich Winterweizensorten hinsichtlich ihres Beschattungsvermögens statistisch gesichert in Landessortenversuchen voneinander unterscheiden? In: D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm und U. Köpke (Hrsg.): Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landwirtschaft. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5. - 8. März 2013, Verlag Dr. Köster, Berlin, 184-187.
- STEINBERGER, J. (Hrsg.), 2003: Workshop Züchtung für den Ökologischen Landbau - Kurzfassung der Vorträge und Stellungnahmen sowie Zusammenfassung der Ergebnisse, Bundessortenamt, Hannover, 14.-15.05.2003.
- VERSCHWELE, A und P. NIEMANN, 1990: Indirekte Unkrautbekämpfung durch Sortenwahl bei Getreide. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 266, 397.
- VERSCHWELE, A., 1994: Sortenspezifische Kulturkonkurrenz bei Winterweizen als begrenzender Faktor für das Unkrautwachstum. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.

Prädation von Unkrautsamen durch samenfressende Carabiden unter dem Einfluss karnivorer Carabiden

Weed seed predation by granivorous carabids as influenced by carnivorous carabids

Friederike de Mol*, Wencke Ladwig und Paula R. Westerman

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Abteilung Phytomedizin,
Satower Straße 48, 18059 Rostock, Deutschland

*Korrespondierender Autor, friederike.de-mol@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.059

Zusammenfassung

Die Samenprädation an Unkrautsamen wird von biotischen Faktoren reguliert und von abiotischen Faktoren beeinflusst. Kenntnisse über diese Effekte sind notwendig, um die Samenprädation zur Unkrautkontrolle gezielt einsetzen zu können. Hier wurde die Fragestellung bearbeitet, ob karnivore Carabiden die Samenprädation negativ beeinflussen. Zusätzlich wurde der Einfluss der Witterung auf die Prädation untersucht. Dazu wurde in Nordostdeutschland über 23 Tage ein Feldversuch (Blockanlage mit vier Prüfgliedern und drei Wiederholungen) in konventionellem Winterweizen angelegt. In 1 m² großen Rahmen wurden Carabidenarten mit granivorer (*Pseudoophonus rufipes*, *Harpalus affinis*) Ernährungsweise ausgesetzt. In einer weiteren Versuchsvariante wurden zusätzlich karnivore Carabiden (*Pterostichus melanarius*, *Poecilus cupreus*) hinzugesetzt. Weitere Versuchsvarianten waren die natürliche Carabidenzusammensetzung und leer gefangene Rahmen. Die Samenprädation wurde täglich mit Hilfe von Samenkarten ermittelt, die mit Samen von *Poa annua* und *Stellaria media* bestückt waren. Temperatur, relative Luftfeuchte und täglicher Niederschlag wurden als Kovariablen erfasst. Die Samenprädation lag in der Variante mit granivoren Carabiden bei 54,3 (*P. annua*) bzw. 14,3 (*S. media*) Samen pro Rahmen und Tag. In Rahmen, in denen zu den granivoren Carabiden zusätzlich karnivore Carabiden gesetzt worden waren, war die Prädation von *P. annua* mit 46,6 Samen pro Rahmen und Tag signifikant niedriger (gepaarter Wilcoxon-Test, $p = 0.04$), bei *S. media* mit 14,4 ähnlich hoch. In Rahmen mit natürlicher Art- und Dichtezusammensetzung der Carabidengemeinschaft fehlten mit 9,1 Samen von *P. annua* und 7,2 Samen von *S. media* pro Rahmen und Tag signifikant mehr Samen als in den leer gefangenen Rahmen (gepaarter Wilcoxon-Test, $p \leq 0.002$). Für den Samenfraß in den mit Käfern besetzten Rahmen wurde die minimale Nachttemperatur als einzige signifikante erklärende Wettervariable gefunden. Die Arbeiten tragen dazu bei, ein besseres Bild von den Bestimmungsfaktoren der Samenprädation im Feld zu erhalten.

Stichwörter: Biologische Unkrautbekämpfung, *Harpalus affinis*, Laufkäfer, *Pseudoophonus rufipes*, Samenfraß, Wirbellose

Abstract

Weed seed predation is influenced for both biological and abiotic factors. Knowledge about these factors is necessary to optimize seed predation as a biological weed control measure. Here, we asked whether carnivorous carabid beetles can affect the seed predation. Additionally, the effect of weather on seed predation rate was investigated. For this purpose, 12, 1m² enclosures were installed in a field (block design with four treatments and three replications) in northeastern Germany over a period of 23 days. Treatments in the enclosures were 1) without carabids, 2) with a natural density and species composition of carabids, 3) with granivorous carabid beetles (*Pseudoophonus rufipes*, *Harpalus affinis*), and 4) as 3) but additionally with carnivorous carabids (*Pterostichus melanarius*, *Poecilus cupreus*) Seed predation rate was determined daily using seed cards with *Poa annua* and *Stellaria media* seeds. Temperature, relative air humidity and daily precipitation were measured as covariables. In the treatment with granivorous carabids seed predation rate was 54.3 (*P. annua*) resp. 14.3 (*S. media*) seeds per enclosure and day. In the treatment with granivorous and carnivorous carabids, seed predation rate was significantly lower for *P. annua* (46.6 seeds per enclosure and day, paired Wilcoxon-Test, $p = 0.04$) and equally high for *S. media* (14.4 seeds per enclosure and day). In enclosures containing non-manipulated carabid densities 9.1 seeds of *P. annua* and 7.2 seeds of *S. media* were lost per enclosure and per day, which is significantly higher than from enclosures that were void of carabids. The minimum night temperature was the only weather variable that significantly influenced seed predation rate. This work contributes to a better understanding of the factors influencing seed predation rates in the field.

Keywords: Biological weed control, ground beetle, *Harpalus affinis*, invertebrates, *Pseudoophonus rufipes*, seed consumption

Einleitung

Prädation von Unkrautsamen in der Zeit nach dem Ausfall der Samen und vor dem Eintritt der Samen in die Bodensamenbank findet auf der Bodenoberfläche von Äckern in bedeutendem Umfang statt. Feldversuche mit auf Samenkarten ausgebrachten Unkrautsamen zeigten, dass 40-100 % der Samen innerhalb weniger Tage gefressen wurden (WESTERMAN *et al.*, 2006). Damit ist die Samenprädation ein wichtiger Regulierungsmechanismus innerhalb der Populationsdynamik von Ackerunkräutern. Um diesen Ökosystemservice für die Unkrautkontrolle besser zu gestalten muss bekannt sein, wie sich verschiedene Umweltfaktoren auf die Samenprädatoren – in Nordostdeutschland zu einem großen Teil Carabiden (Laufkäfer, DAEDLOW *et al.*, 2007) – und ihre Prädationsleistung auswirken.

In Ackerökosystemen wurde die Bedeutung verschiedener exogener Variablen für die Samenprädation bereits untersucht. So beschrieben SASKA *et al.* (2010) die Auswirkung der Temperatur, HONEK *et al.* (2006) und HEGGENSTALLER *et al.* (2006) den Einfluss der Saison. Diese Parameter sind vom Landwirt nicht beeinflussbar. Landwirte haben jedoch Steuerungsmöglichkeiten, z.B. mit der Wahl eines Anbausystems und der Wahl der Bodenbearbeitung. Auch an den Acker grenzende ökologische Infrastrukturen beeinflussen die Besiedlung des Schlages mit Samenprädatoren und ihren Samenfraß (FISCHER *et al.*, 2011). Exogene Faktoren können direkt auf die Carabidenpopulationen wirken oder indirekt, indem sie das Nahrungsangebot modifizieren oder die Dichte der Käfer ändern. BARAIBAR *et al.* (2011) zeigten, dass der Samenfraß durch Carabiden nicht von der Samendichte abhängt. Über die Auswirkung von karnivoren Carabiden auf die Samenprädation wurde unseres Wissens bis heute nicht publiziert. Im Labor wurde von DÖSCHER (2012) in Einzelfällen (bei hohen Temperaturen) beobachtet, dass die Fraßleistung granivorer Carabiden bei Anwesenheit karnivorer Carabiden niedriger ist als bei Abwesenheit.

Als eine Frage der Grundlagenforschung soll untersucht werden, inwieweit karnivore Carabiden die Samenprädation durch samenfressende Carabiden im Feld beeinflussen. In einem Feldversuch in Winterweizen wurde 2012 deshalb der Hypothese nachgegangen, dass das Verhalten und die Fraßaktivität der granivoren Carabiden durch karnivore Carabiden beeinflusst werden. Da erwartet wurde, dass Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag die Prädation zusätzlich oder interagierend beeinflussen, wurden diese Parameter als erklärende Variablen ebenfalls erfasst.

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Der Versuch fand auf einem konventionellen Winterweizenschlag mit der Bodenart sandiger Lehm vom 11. Juni 2012 bis 4. Juli 2012 statt. In mindestens 20 m Entfernung zum Schlagrand wurden 1 m x 1 m große und 45 cm hohe Holzrahmen in 5 bis 10 m Abstand 5 cm tief in den Boden gesetzt. Die Rahmen waren im unteren Teil mit Blech, im oberen mit Fluoropolymer-Harz behandeltem PVC ausgekleidet. Dadurch sollte verhindert werden, dass Mäuse oder Käfer die Rahmen überkletterten oder untergruben. Der Pflanzenbewuchs blieb erhalten. Zwei Wochen lang wurden 9 der 12 Rahmen mit vier Barberfallen pro Rahmen leergefangen. Am 11. Juni 2012 wurden Carabiden, die auf einem anderen Schlag gefangen worden waren, in folgenden vier Prüfgliedern mit je drei Wiederholungen ausgesetzt:

Variante O	Kontrolle; keine Käfer
Variante N	natürliche Käferdichte (Ø 4,7 Käfer), nicht leergefressen, keine zusätzlichen Käfer
Variante G	10 granivore Käfer (2 <i>Pseudoophonus rufipes</i> + 8 <i>Harpalus affinis</i>)
Variante C/G	10 granivore Käfer (2 <i>Pseudoophonus rufipes</i> + 8 <i>Harpalus affinis</i>) + 10 karnivore Käfer (2 <i>Pterostichus melanarius</i> + 8 <i>Poecilus cupreus</i>)

Die Samenprädation wurde über einen Zeitraum von 23 Tagen ab Mitte Juni täglich mit Hilfe von Samenkarten nach WESTERMAN *et al.* (2003) ermittelt. Je Rahmen wurden täglich fünf Samenkarten mit je 40 *Poa annua* Samen und *Stellaria media* Samen ausgelegt. Die Karten des Vortags wurden eingesammelt, die verbleibenden Samen gezählt und die fehlenden als gefressen bewertet.

Anschließend wurden erneut je 4 Barberfallen in alle Rahmen eingesetzt, um durch die zurückgefangenen Käfer die Änderungen in der Carabidendichte zu erkennen.

Erfassung von Kovariablen

Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit wurden mit zwei Datenloggern in 1,50 m Höhe über der Bodenoberfläche im Abstand von 10 Minuten gemessen. Aus den Messwerten wurden die Variablen Minimumtemperatur, Maximumtemperatur und mittlere Temperatur jeweils für den Tag von 6.00 Uhr bis 18.00 Uhr und Minimumtemperatur, Maximumtemperatur und mittlere Temperatur jeweils für die Nacht von 18.00 Uhr bis 6.00 des Folgetages abgeleitet. Entsprechend wurden minimale, maximale und mittlere Luftfeuchtigkeit für den Tag und die Nacht berechnet. Der 24-Stunden-Niederschlag wurde mit einem Niederschlagsmesser täglich nachmittags gemessen. Ebenfalls als Kovariable wurde der Versuchstag (Tag nach Aussetzen der Carabiden) aufgenommen.

Statistische Auswertung

In den statistischen Auswertungen wurde der erste Tag nicht berücksichtigt, da von der Notwendigkeit einer Eingewöhnung der Käfer ausgegangen wurde. Die gefressenen Samen wurden nach Art getrennt pro Rahmen gepoolt. Keine Karte wurde leergefressen und nie wurden alle Samen einer Unkrautart innerhalb eines Rahmens an einem Tag gefressen.

Mit dem Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben wurden die Varianten O und N sowie die Varianten G und C/G auf Unterschiede getestet (HOLLANDER und WOLFE, 1999). Die zeitliche Entwicklung des Samenfraßes in den Varianten G und C/G, die zeitliche Entwicklung der nächtlichen Minimumtemperatur sowie der Einfluss des Wetters auf die Prädation in diesen Varianten wurden mit Linearen Modellen untersucht.

Für alle Berechnungen wurde das Statistikprogramm R, Version 2.15.2 (R CORE TEAM, 2012) mit dem Paket lme4 (BATES *et al.*, 2013) genutzt.

Ergebnisse

Einfluss der Witterung auf die Samenprädation

In allen Varianten wurden Samen von *P. annua* und von *S. media* gefressen. *P. annua* wurde mit im Mittel 28,7 Samen*d⁻¹*m⁻² gegenüber *S. media* (9,7 Samen*d⁻¹*m⁻²) bevorzugt. In der Variante mit natürlicher Carabidendichte wurden 9,1 Samen*d⁻¹*m⁻² von *P. annua* gefressen, ungefähr doppelt soviel wie in Variante O (4,7 Samen*d⁻¹*m⁻²). Der Unterschied war signifikant (Wilcoxon-Test, p < 0.001). Auch für *S. media* unterschieden sich die Varianten N und O signifikant (Wilcoxon-Test, p = 0.002) mit 7,2 bzw. 2,9 Samen*d⁻¹*m⁻².

In Variante G, in der ausschließlich granivore Käfer zugesetzt worden waren, war der Fraß von *P. annua* Samen mit 54,3 Samen*d⁻¹*m⁻² am höchsten. In der Variante C/G, in der außer granivoren auch karnivore Käfer zugesetzt worden waren, lag die Fraßleistung deutlich niedriger (46,6 Samen*d⁻¹*m⁻², Wilcoxon-Test, p = 0.04). *S. media* Samen wurden in beiden Varianten gleich stark befallen (14,3 Samen*d⁻¹*m⁻² in Variante G, 14,4 Samen*d⁻¹*m⁻² in Variante C/G).

Über die Versuchszeit wurde in den Varianten G und C/G ein Anstieg im Samenfraß festgestellt (Abb. 1), der für *P. annua* in der Variante G und für *S. media* in beiden Varianten signifikant war (F-Test, $p < 0.01$).

Einfluss der Witterung auf die Samenprädation

Mit steigender Minimumtemperatur der Nacht nahm in den Varianten G und C/G die Samenprädation bei *P. annua* signifikant zu (F-Tests, $p < 0.001$, Abb. 2). Die anderen erfassten Witterungsparameter blieben ohne Beziehung zum Samenfraß. Da die Minimumtemperatur der Nacht über den Versuchszeitraum anstieg (F-Test, $p < 0.05$), wurde getestet, ob der oben beschriebene ansteigende Trend im Samenfraß über den Versuchszeitraum allein auf den Temperatureffekt zurückgeführt werden konnte. Die Aufnahme des Versuchstags in das Lineare Modell als unabhängige Variable zusätzlich zur nächtlichen Minimumtemperatur brachte keine signifikante Verbesserung (F-Test, $p > 0.5$).

Rückfang

Nur ein kleiner Teil der Laufkäfer konnte nach Beendigung des Versuchs zurück gefangen werden (Tab. 1). Andererseits wurden auch in den Rahmen der Variante O Käfer gefangen.

Tab. 1 Nach Ende des Versuchs in den Rahmen mit unterschiedlich manipulierter Käferdichte gefangene Carabiden (Barberfallenfänge, [Käfer * m⁻²], n = 3).

Tab. 1 Caught carabids at the end of the trial in frames with differently manipulated beetle densities (pitfall traps, [beetles * m⁻²], n = 3).

Carabidenart	Variante O	Variante N	Variante G	Variante C/G
<i>Pseudoophonus rufipes</i>	0,0	0,0	1,7	2,0
<i>Harpalus affinis</i>	0,0	0,0	2,3	2,7
<i>Pterostichus melanarius</i>	0,7	0,7	1,0	3,3
<i>Poecilus cupreus</i>	0,0	0,7	2,7	4,0
<i>Platynus dorsalis</i>	0,3	1,0	0,0	0,0

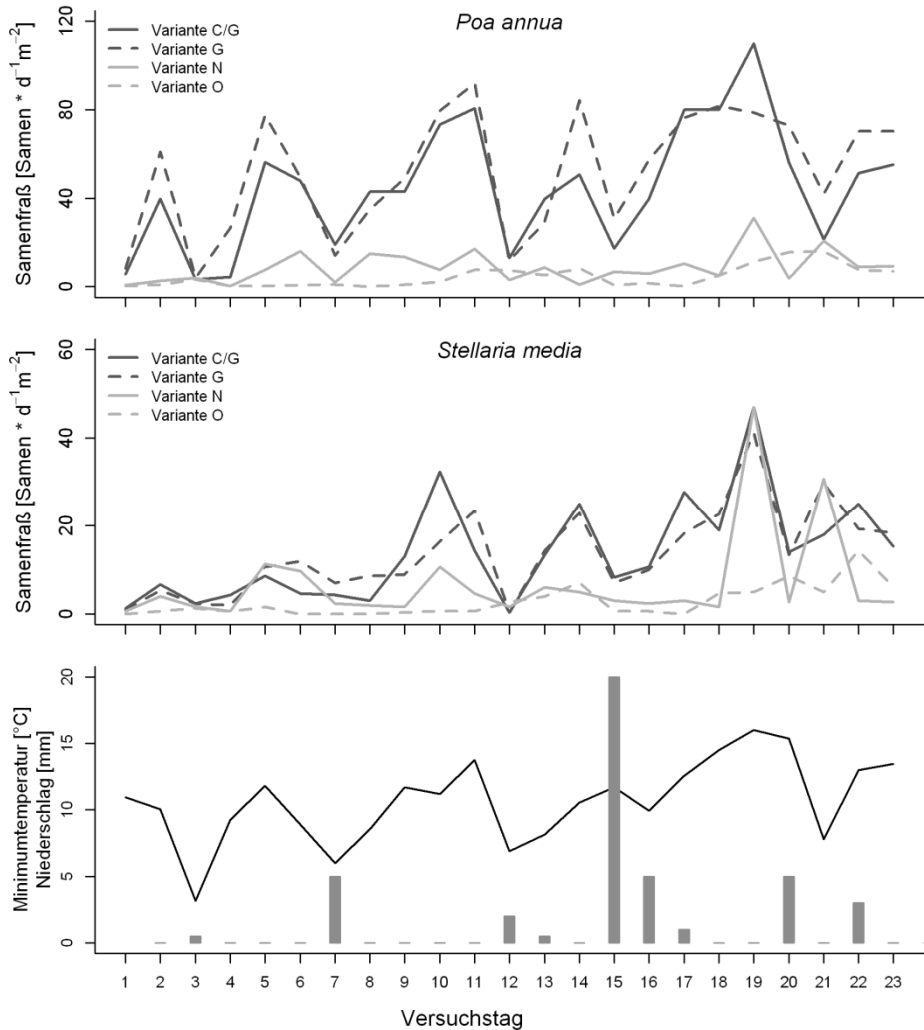


Abb. 1 Fraß von *Poa annua*-Samen (oben) und *Stellaria media*-Samen (Mitte) in Rahmen (Fläche: 1 m²) mit unterschiedlich manipulierten Carabidendichten während 23 Tagen (n = 3 pro Variante und Tag). Minimumtemperaturen der Nacht (Linie) und Tagesniederschläge (Balken, unten). Tag 0 = 11. Juni 2012.

Fig. 1 Predation of *Poa annua* seeds (top) and *Stellaria media* seeds (middle) in enclosures (area: 1 m²) with differently manipulated carabid beetle densities during 23 days (n = 3 per variant and day). Night minimum temperature (line) and daily precipitation (bars, bottom). Day 0 = 11/June/2012.

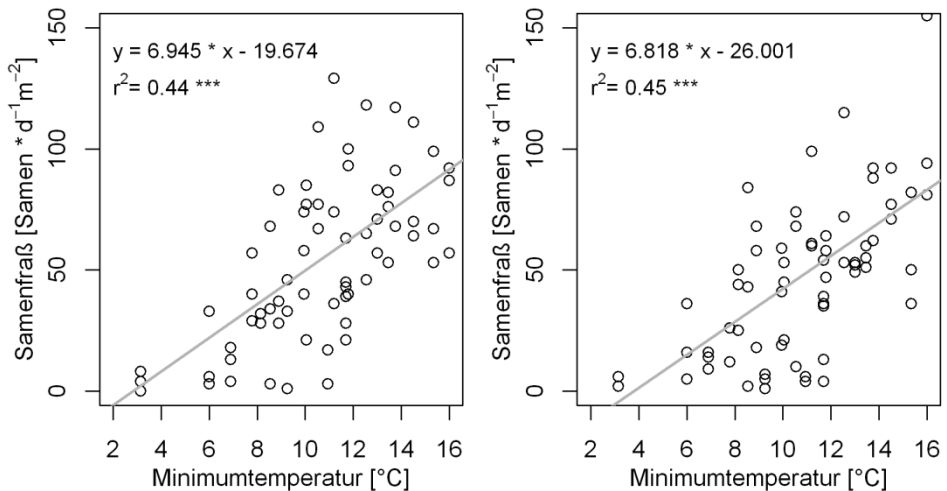


Abb. 2 Einfluss der Minimumtemperatur der Nacht auf die Anzahl gefressener Samen von *Poa annua*. links: Variante mit granivoren Carabiden (Variante G), rechts: Variante mit karnivoren und granivoren Carabiden (Variante C/G). o: Messwerte, — Regressionsgerade. ***: $p < 0.001$.

Fig. 2 The effect of night minimum temperature on the part of predated seeds of *Poa annua*. left: with granivore carabids (Variante G), right: with carnivore and granivore carabids (Variante C/G). o: measured values, — regression line. ***: $p < 0.001$.

Diskussion

Die Hypothese, dass karnivore Carabiden den Samenfraß von granivoren Carabiden negativ beeinflussen, wurde im vorliegenden Experiment bestätigt. Die geringere Prädation in der Variante C/G fällt umso mehr ins Gewicht, als *P. melanarius* zu den omnivoren Käfern zählt und sich, obwohl nicht überwiegend, auch von Samen ernährt. Wahrscheinlich sind *P. melanarius* und *P. cupreus* keine direkten Räuber adulter *P. rufipes* und *H. affinis*, da keine Angriffe von im Labor gehaltenen *P. melanarius* auf *P. rufipes* beobachtet wurden (DÖSCHER, 2012). Im Vergleich zu der natürlichen Dichte von 4,7 Käfern* m^2 , die durch Leerfangen der Rahmen bestimmt worden war, war die Variante C/G mit 20 Käfern viereinhalb Mal so dicht besetzt. Eventuell kommt es durch den dichten Besatz mit Carabiden zu Stresserscheinungen, zumal die Käfer den Rahmen nicht laufenderweise verlassen konnten. Stress könnte die geringere Prädation in C/G erklären. WOLFF-SCHWERIN (1993) bestimmte die Dichte von Carabiden in Winterrapsfeldern 1987 und 1988 in der Nähe von Göttingen, indem er dieselben Rahmen wie in diesem Experiment nutzte und sie mit Barberfallen leer fing. Er fand im Juni höhere Dichten von 35 (1987) bzw. 21 (1988) Individuen pro m^2 . Die Artenzusammensetzung war jedoch ganz anders als die von uns gefundene. Es ist deshalb nicht sicher, ob das Phänomen reduzierten Fraßes durch gleichzeitige Anwesenheit karnivorer Carabiden bei natürlichen, nicht manipulierten Käferdichten überhaupt auftritt.

In der Variante G wurden im Mittel pro eingesetzten Käfer 5,4 *P. annua*-Samen und 1,4 *S. media*-Samen täglich gefressen. SASKA *et al.* (2010) geben an, dass *H. affinis*- und *P. rufipes*-Individuen 12,8 bzw. 29,1 *Taraxacum officinale*-Samen täglich aufnahmen, wobei es deutliche Unterschiede im Verhalten der Geschlechter gab (Laborversuch). Die Käfer im eigenen Versuch wurden nicht gesext. Es ist jedoch offensichtlich, dass die Prädation je Tier im Feld wesentlich geringer war, zumal das Samengewicht von *Taraxacum officinale* ähnlich dem von *S. media* und ungefähr doppelt so hoch wie von *P. annua* ist. HONEK *et al.* (2005), die mit denselben Arten arbeiteten wie SASKA *et al.* (2010), ermittelten ebenfalls eine niedrigere Prädation im Feld von 1-2 Samen je Käfer und Tag.

Der Anstieg der Prädation über den Versuchszeitraum ist für die Jahreszeit typisch (HONEK *et al.*, 2006). HONEK *et al.* (2006) erklären dies mit dem erhöhten Energiebedarf der Frühjahrsbrüter wie *H. affinis* für die Reproduktion, die in diese Zeit fällt. Sowohl der Anstieg der Prädation über den Versuchszeitraum als auch die niedrigere Fraßrate im Vergleich zu den im Labor gefundenen Ergebnissen von SASKA *et al.* (2010) lassen sich auch mit den auf der Bodenoberfläche liegenden Samen erklären: Von den auf dem Feld erfassten Unkrautarten konnte *Viola arvensis* schon aussamen. Die Anzahl ausgefallener *V. arvensis*-Samen wurde leider nicht abgeschätzt. Da *V. arvensis* Samen von *H. affinis* stark präferiert werden – sie stehen an zweiter Stelle von 28 Unkrautarten (HONEK *et al.*, 2006) – ist es möglich, dass der Vorrat der Bodenoberfläche zunächst ausgebeutet wurde, bevor die Carabiden von den Samenkarten fraßen. Der Anstieg der Prädation über die Zeit wurde wahrscheinlich auch von den ansteigenden Minimumtemperaturen in der Nacht bestimmt.

Der Temperatureinfluss auf die Samenprädation durch die Carabiden ist aus der Literatur sowohl für Laborversuche (SASKA *et al.*, 2010) als auch für das Freiland (DAVIS und RAGHU, 2010) belegt. Der fehlende Einfluss der Tagestemperatur weist auf eine Nachtaktivität der Samenprädatoren hin. Der Niederschlag hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Prädation. Allerdings kann aus Abbildung 1 die Tendenz abgeleitet werden, dass an Tagen mit stärkeren Regenfällen der Fraß verringert war. Für einen klaren Nachweis des Niederschlagseinflusses ist der Datenumfang jedoch zu klein.

Die Rückfangquoten der Carabiden waren gering. Viele zu gleicher Zeit gefangene, im Labor gehaltene Käfer starben ab dem 19. Versuchstag. Eventuell trat dieses Phänomen parallel auch im Feld auf, sodass nur vier Tage der Versuchsperiode von stark veränderten Käferdichten betroffen gewesen wären. In der Variante N wurde an den Tagen 19 und 21 eine sehr hohe Prädation beobachtet. Es erscheint möglich, dass Samenprädatoren von außerhalb zugeflogen waren, zumal verschiedene Biotypen von Carabidenarten auch geflügelte Adulte bilden können. Dies würde auch erklären, warum in den eigentlich leer gefangenen Rahmen bei Versuchsende doch Carabiden gefunden wurden. Nicht von der Hand zu weisen ist, dass die geringe Rückfangquote die Aussagekraft der Daten schmälert. Jedoch ist der Befund, dass die Anwesenheit karnivorer Carabiden die Samenprädation von granivoren Carabiden offensichtlich senkt, so interessant, dass diese Regulation des Samenfraßes sowohl als grundlegender ökologischer Zusammenhang wie auch hinsichtlich der potentiellen Nutzung in der Unkrautbekämpfung weiter untersucht werden sollte.

Literatur

- BARAIBAR, B., D. DAEDLOW, F. DE MOL und B. GEROWITT, 2011: Density dependence of weed seed predation by invertebrates and vertebrates in winter wheat. *Weed Res.* **52** (1), 79-87.
- BATES, D., M. MAECHLER, B. BOLKER und S. WALKER, 2013: lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1.0-4. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>.
- DAEDLOW, D., F. DE MOL und B. GEROWITT, 2007: Gradient of weed seed predation from the border into a wheat field. *Proceedings of the 2nd Workshop of the EWRS Working Group "Weeds and Biodiversity"*, 14-15 March, 2-3.
- DAVIS, A. und S. RAGHU, 2010: Weighing abiotic and biotic influences on weed seed predation. *Weed Res.* **50** (5), 402-412.
- DÖSCHER, H.-H., 2012: Die Quantifizierung der Samenprädation von granivoren Laufkäfern mit und ohne Beeinflussung durch die Anwesenheit von karnivoren Laufkäfern. Bachelorarbeit, Universität Rostock.
- FISCHER, C., C. THIES und T. TSCHARTKE, 2011: Mixed effects of landscape complexity and farming practice on weed seed removal. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **13**, 297-303
- HEGGENSTALLER, A. H., F. D. MENALLED, M. LIEBMAN und P. R. WESTERMAN, 2006: Seasonal patterns in post-dispersal seed predation of *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi* in three cropping systems. *J. Appl. Ecol.* **43** (5), 999-1010.
- HOLLANDER, M. und D. A. WOLFE, 1999: *Nonparametric Statistical Methods*. Second edition. New York, John Wiley and Sons. 816 p.
- HONEK, A., Z. MARTINKOVA und P. SASKA, 2005: Post-dispersal predation of *Taraxacum officinale* (dandelion) seed. *J. Ecol.* **93** (2), 345-352.
- HONEK, A., P. SASKA und Z. MARTINKOVA, 2006: Seasonal variation in seed predation by adult carabid beetles. *Entomol. Exp. Appl.* **118** (2), 157-162.
- R CORE TEAM, 2012: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

- SASKA, P., Z. MARTINKOVA und A. HONEK, 2010: Temperature and rate of seed consumption by ground beetles (Carabidae). *Biol. Control* **52** (2), 91-95.
- WESTERMAN, P.R., A. HOFMAN, L. VET und W. VAN DER WERF, 2003: Relative importance of vertebrates and invertebrates in epigeaic weed seed predation in organic cereal fields. *Agr. Ecosyst. Environ.* **95** (2-3), 417-425.
- WESTERMAN, P.R., M. LIEBMAN, A.H. HEGGENSTALLER und F. FORCELLA, 2006: Integrating measurements of seed availability and removal to estimate weed seed losses due to predation. *Weed Sci.* **54** (3), 566-574.
- WOLFF-SCHWERIN, G., 1993: Der Einfluss von Herbiziden, Verunkrautung und räumlichen Habitatfaktoren auf die Bodenfauna in Winterraps-Kulturen, unter besonderer Berücksichtigung der epigäischen Prädatoren. Dissertation, Universität Göttingen.

Auswirkung der Mulchmasse der Vorfrucht Hafer auf die Unkrautflora bei Direktsaat von Ackerbohnen im Ökologischen Landbau

Effect of straw mulch residues of previous crop oats on the weed population in direct seeded faba bean in Organic Farming

Luiz Felipe Perrone Massucati* und Ulrich Köpke

Institut für Organischen Landbau, Katzenburgweg 3, 53115 Bonn

*Korrespondierender Autor, luiz.massucati@uni-bonn.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.060

Zusammenfassung

Permanente Direktsaat zu allen Kulturen der Fruchtfolge scheitert im Ökologischen Landbau am hohen Unkrautdruck und der geringeren Stickstoffmineralisation im Vergleich zu intensiver Bodenbearbeitung mit den Effekten mechanischer Unkrautregulation, Durchlüftung und rascherer Bodenerwärmung im Frühjahr. Ackerbohnen entwickeln mit Beginn des späten Frühjahrs eine hohe Konkurrenzskraft gegenüber Unkräutern und sind von der Stickstofffreisetzung des Bodens weitgehend unabhängig. Untersucht wurde deshalb, ob bei alleiniger Direktsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) in Mulch aus Ernteresten der Vorfrucht Hafer annuelle Unkräuter hinreichend unterdrückt werden können. In den Sommerhalbjahren 2009 und 2010 wurden acht Feldversuche an verschiedenen Standorten in Nordrhein-Westfalen unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus durchgeführt. Für das System Direktsaat (DS) wurden auf den Haferstoppln 0, 4 und 6 t ha⁻¹ Haferstroh – unterschiedlichen Strohertrag der Vorfrucht simulierend – ausgebracht. Als Referenzvariante diente nach Abfuhr des Haferstrohs eine Stoppelbearbeitung mit anschließendem Winterzwischenfruchtanbau und Grundbodenbearbeitung mit dem Wendepflug im Frühjahr zu *V. faba* (Lockerbodensystem, LBS). Stroh-Mulch mit anschließender Direktsaat verringerte in fünf von sieben Versuchen vor allem die Abundanz dikotyler annueller Arten in deutlich höherem Maße als die Variante LBS. Im Mittel aller Versuche wurden diese Unkräuter im Vergleich zum LBS durch DS mit Stroh um 81 bzw. 85 % vermindert. DS mit Strohmulch reduzierte offensichtlich vor allem Lichtkeimer wie Kamille-Arten und typische Arten der Spätverunkrautung wie *Chenopodium album* hinreichend. Gräser und perennierende Unkräuter traten im DS unabhängig von der Strohmasse verstärkt auf. Im LBS war die Abundanz dieser Unkrautgruppen im Vergleich mit DS um 64 bzw. 82 % reduziert. Die Sprossentwicklung der Ackerbohnen war nach Direktsaat verglichen mit LBS zunächst verzögert, doch waren die Ertragsdifferenzen von LBS und DS mit Strohrestmassen von mindestens 4 t ha⁻¹ nicht signifikant. Entscheidende Kriterien für den temporären Pflugverzicht bei Ackerbohnen sind bei geeigneten Fruchtfolgepaaren im Ökologischen Landbau das Vorhandensein hinreichender Strohmasse der Vorfrucht und ein geringer Unkrautbesatz mit Perennierenden und Gräsern.

Stichwörter: Ackerbohnen, Festboden-Mulchsystem, Organischer Landbau, Strohmulch, Unkrautregulation

Abstract

Under conditions of Organic Farming, we investigated whether direct seeding of faba bean (*Vicia faba* L.) into straw mulch from residues of precrop oats used for weed control enables at least occasional/opportunistic direct seeding in Organic Agriculture. Eight field trials were carried out at different study sites in North Rhine-Westphalia, Germany, in 2008-2009 and 2009-2010. Direct seeding (DS) was performed into mulch layers of 0, 4 and 6 t ha⁻¹ of straw residues applied to the remaining stubble, simulating different yield levels of the precrop oats. LBS was used as a reference treatment, where straw was harvested, stubble tillage performed and seedbed prepared in fall and oil radish (*Raphanus sativus*) grown as winter cover crop. Mouldboard ploughing combined with conventional seedbed preparation was performed in early spring to *V. faba*. Compared with LBS, straw mulch with subsequent direct seeding suppressed especially dicotyledonous annuals significantly. DS treatments with straw reduced the abundance of this group by 81 and 85% compared with LBS. Straw mulch resulted in effective suppression of photosensitive weeds such as *Matricaria* spp. and late germinating *Chenopodium album*. Grasses and perennial species occurred independent of the amount of straw. Compared with DS, the abundance of these weeds was reduced by 64 and 82% in LBS treatment. The shoot dry matter production of faba bean was retarded by DS compared with LBS, but significant yield losses could be avoided with straw residues of at least 4 t ha⁻¹. Sufficient amount of straw of from the previous crop is a key criterion to facilitate organic no-till farming of faba bean in a suitable crop sequence when pressure of perennials and grasses is low.

Keywords: Faba bean, no tillage, Organic Farming, straw mulch, weed control

Einleitung

Unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus ergeben sich zwei wesentliche Hindernisse für den permanenten Einsatz von Direktsaatverfahren: Erstens ein erhöhter Unkrautdruck als Folge des Pflugverzichts (MÄDER und BERNER, 2012) und anderer Effekte mechanischer Unkrautregulation. Zweitens eine geringere bodenbürtige Stickstofffreisetzung in dem im Vergleich zur Lockerbodenwirtschaft weniger durchlüfteten und damit kühleren und nasserem, unbearbeiteten Boden. Im Gegensatz zu Nichtleguminosen ist die im späteren Vegetationsverlauf konkurrenzkräftige Ackerbohne auf die bei Verzicht auf intensive Bodenbearbeitung geringere bodenbürtige Stickstofffreisetzung nicht angewiesen; ihr Keimwasserbedarf ist hoch. Durch Nutzung von Körnerleguminosen in geeigneten Fruchtfolgeausschnitten könnte ein zeitweiliger Pflugverzicht ermöglicht werden, mit Auswirkungen auf die Sicherung und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und Minderung von Erosion. Ziel dieser Arbeit war es zu prüfen, ob mit Direktsaat der Ackerbohne in Ernterestmulch der Vorfrucht Hafer eine hinreichende Unterdrückung annueller Unkräuter als Funktion der Strohmasse möglich ist. Hafer gilt als vergleichsweise konkurrenzkräftiges Getreide mit hoher Unkrautunterdrückung. Mögliche allelopathische Wirkungen dieser Feldfrucht wurden neben dem physikalischen Effekt der Mulchmasse nicht gesondert untersucht. Gemäß den Hinweisen von BARBERI (2002) könnte für die frühe Phase der Entwicklung die homogene Verteilung von mindestens 4 t ha⁻¹ Strohrückständen der Vorfrucht Hafer (*Avena sativa* L.) eine effektive Unkrautunterdrückung gewährleisten und mit nachfolgender Direktsaat der Ackerbohnen eine Diesel und Arbeit einsparende Anbauoption darstellen. In den Jahren 2008-09 und 2009-10 wurden acht Feldversuche an verschiedenen Standorten in Nordrhein Westfalen durchgeführt. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass mit hinreichender Masse Strohmulch der Vorfrucht Hafer einjährige Unkräuter in Ackerbohne erfolgreich unterdrückt werden können. Zugleich wurde keine signifikante Ertragsminderung der direkt in Strohmulch gesäten Ackerbohnen im Vergleich zu wendender Bodenbearbeitung mit Saatbettbereitung erwartet.

Material und Methoden

In den Sommerhalbjahren 2009 und 2010 wurden acht Feldversuche an fünf Standorten in der Niederrheinischen Bucht unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus durchgeführt (Tab. 1). Vier Feldversuche wurden auf zwei Versuchsbetrieben der Universität Bonn angelegt. Auf der Lehr- und Forschungsstation für Organischen Landbau Wiesengut in Hennef/ Sieg handelt es sich um allochthone braune Auenböden, lehmig-schluffige bis sandig-schluffige Auensedimente mit Ackerzahlen von 60 bis 77. Der Boden war hoch mit Kalium (19-32 mg K/100g Boden, Gehaltsklasse D) und optimal mit Phosphor (10-18 mg P/100g Boden, Gehaltsklasse C) versorgt. Zwei weitere Feldversuche wurden auf der Lehr- und Forschungsstation Frankenforst in Königswinter angelegt (Pseudogley-Parabraunerde und Pseudogley, feinsandiger Lehmboden und toniger Lehmboden, z. T. skelettreich, Ackerzahl: 34/26 und 58/61). Die P- Gehalte entsprachen hier der Gehaltsklasse E (> 33 mg P/100g Boden); die Kalium-Gehalte waren auf beiden Versuchsflächen optimal (10-18 bzw. 14-24 mg K/100g Boden, Gehaltsklasse C). Am Standort Niederkrüchten wurden zwei Feldversuche mit Ackerzahlen von 50 und 65 auf dem Betrieb „Hof Bolten“ angelegt (63 bis 68 m über NN). Die Phosphor- und Kalium-Gehalte waren hoch (19-32 mg P/ 100g Boden, 19-32 mg K/100g Boden; Gehaltsklasse D). Zwei weitere Feldversuche wurden im Versuchsjahr 2010 6 km östlich von Hennef in Petershohn (PHO, Ackerzahl 60, P- und K-Gehalte vglw. niedrig (4-9 mg P/100g Boden, Gehaltsklasse B) bzw. optimal (14-24 mg K/100g Boden, Gehaltsklasse C)) und 20 km nordöstlich von Niederkrüchten auf dem „Stautenhof“ in Willich Anrath (WIL) durchgeführt. Die Versuchsfläche WIL hat eine Ackerzahl von 75 (Lössboden - sandiger Lehm) und liegt auf etwa 37 m NN.

Tab. 1 Versuchsstandorte und klimatische Bedingungen der Feldversuche.

Tab. 1 Study sites and climate conditions at the field trials.

Standort	Versuche	Jahr	Breitengrad	Längengrad	Höhe ü. NN (m)	T ^b (°C)	N ^c mm
Hennef	HEF	2009	N 50°47'25,4	E 7°16'24,1	64	10,8	843
		2010	N 50°47'39,1	E 7°15'55,7	63	9,5	741
Königswinter	KÖG	2009	N 50°42'38,1	E 7°12'41,8	181	10,6	694
		2010	N 50°42'30,6	E 7°12'54,3	189	9,3	635
Niederkrüchten	NIK	2009	N 51°12'57,6	E 6°11'53,9	63	10,7	768
		2010	N 51°12'21,7	E 6°11'24,1	68	9,4	813
Willich-Anrath	WIL	2010	N 51°16'50,8	E 6°28'26,1	37	10,0	718
Petersshohn	PHO	2010	N 50°45'24,1	E 7°19'41,7	151	9,5	741

^b: Jahresmittel Temperatur; ^c: Jahressumme Niederschlag.

Alle Feldversuche wurden vollständig randomisiert als ein-faktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die Varianten bestanden aus zwei Bodenbearbeitungssystemen zu *V. faba*: Direktsaat (DS) und konventionelle Bodenbearbeitung (Lockerbodensystem, LBS). Nach der Ernte der Vorrucht Saathafer (10-15 cm Schnitthöhe) wurde in allen Varianten zunächst das Stroh abgefahren und auf 10 cm Schnittlänge gehäckselt. Anschließend wurden 4 t (DS_{4M}) und 6 t ha⁻¹ (DS_{6M}) Haferstroh auf der Oberfläche der jeweiligen Versuchspartellen einheitlich auf den Haferstoppeln ausgebracht. In den Varianten LBS und DS_{0M} wurde kein zusätzliches Stroh angewendet; nur die Stoppeln bedeckten den Boden. In der Referenz-Variante (LBS) wurde die Stoppelbearbeitung mit dem Schwergrubber durchgeführt. Es folgte eine Kreiseleggen-Säkombination, mit der die Winterzwischenfrucht Örettich (*Raphanus sativus*; 25 kg ha⁻¹) ausgebracht wurde. Die Grundbodenbearbeitung zur Ackerbohne erfolgte mit einem 5-Schar-Wendepflug im zeitigen Frühjahr. Im LBS wurde eine mechanische Unkrautregulierung (Hacke) zu den BBCH-Stadien 19 und 37 durchgeführt; in den DS-Varianten wurde keine mechanische Unkrautregulierung durchgeführt. Die Maßnahmen in ihrer zeitlichen Abfolge sind in Abbildung 1 dargestellt.

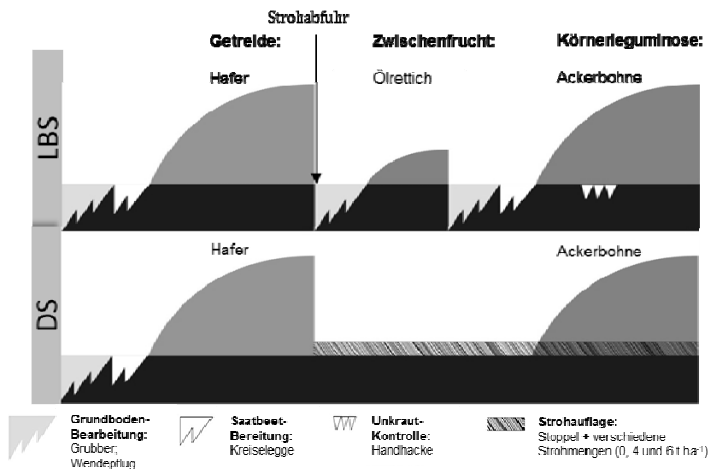


Abb. 1 Maßnahmen und deren Abfolge in den Anbauverfahren Lockerbodensystem (LBS) und Direktsaat (DS).

Fig. 1 Measures used in loose soil husbandry (LBS) and direct seeding (DS) systems.

Die Ackerbohnen wurde auf einer Tiefe von 7 bis 9 cm im März oder April mit einer Einzelkorn-Dreischeiben-Sämaschine (SEMEATO SHM 11/13) und 34 cm Reihenweite gesät. Probleme mit der Saatgutqualität erforderten die Nachsaat in zwei Versuchen (HEF und NIK) im Jahr 2009. Die Sorte *Fuego* wurde dabei mittig zwischen die bereits mit der Sorte *Limbo* gesäten Reihen eingebracht. Somit wurden für diese Versuche 90 Körner m^{-2} gesät und der resultierende Reihenabstand betrug 17 cm. In allen anderen Versuchen wurde mit einer Aussaatstärke von 45 Körnern m^{-2} der Sorte *Fuego* mit einem Reihenabstand von 34 cm gearbeitet. Die Unkrautabundanz (Pflanzen m^{-2}) der natürlich auftretenden Unkrautflora wurde zu Beginn der Vegetationsentwicklung der Ackerbohne (BBCH 09-23) bestimmt. Die Pflanzen der verschiedenen Unkrautarten (Dikotyle, Monokotyle und perennierende Arten) wurden je Parzelle in jeweils vier dauerhaft markierten quadratischen 0,1 m^2 großen Teilflächen quantifiziert. In einem Versuch (HEF10) wurden die aufgelaufenen *Chenopodium album* (CHEAL) Pflanzen eines laufenden Meters innerhalb und zwischen der Ackerbohnen-Drillreihe an vier Orten je Parzelle gezählt. Die Ackerbohnen-Sprossstrockenmasse wurde zweimal je nach Parzellengröße innerhalb eines 0,5 bzw. 0,25 m^2 Rahmens an einem Beprobungstermin (BBCH 55-67) bestimmt. Für die Erfassung des Kornertrages wurden 9,5 m^2 des Parzellenkerns bei Belassung der Randleihen mit einem Parzellen-Mähdröschler (Fa. Hege) beerntet. Der Einfluss der Versuchsfaktoren auf die erhobenen Parameter wurde mittels Varianzanalyse, der Vergleich der Mittelwerte mit dem Tukey-Test ($\alpha = 0,05$) vorgenommen. Die Varianzanalyse wurde mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS (Version 19.) durchgeführt. Zuvor wurden die Daten aller Teilstückstufen auf Normalverteilung geprüft (Shapiro-Wilk-Test). Zwischen den Versuchsfaktoren und den Versuchsstandorten wurden für nahezu alle Unkraut- und Ackerbohnenparameter signifikante Wechselwirkungen festgestellt. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse für alle Versuche getrennt dargestellt.

Ergebnisse

Die Abundanz der Unkräuter wurde von den Anbauverfahren unterschiedlich beeinflusst (Tab. 2). Die Erhebungen zeigen, dass in allen Verfahren der Direktsaat (mit und ohne Stroh) eine z. T. signifikant höhere Abundanz perennierender Unkräuter und Gräser vorlag als im LBS. Im Mittel aller Versuche wurde im LBS die Abundanz perennierender Arten und Gräser um 64 bzw. 82 % im Vergleich mit DS (Mittel aller Varianten) vermindert. Jedoch wurde die Abundanz der Gräser im LBS z. T. auch gefördert (im Versuch NIK 2010 signifikant). Der Einfluss der Strohaufgabe auf das Wachstum der Gräser- und perennierenden Arten war standortabhängig. In vier von sieben Versuchen wurde in den DS Varianten mit Stroh eine z. T. signifikant niedrigere Abundanz der Gräser im Vergleich zur Variante DS_{0M} festgestellt (Verminderung um 24-49 % im Mittel aller Versuche). Demgegenüber wurden die perennierenden Arten durch Strohrefeste von 4 und 6 t ha^{-1} im Vergleich zu DS_{0M} nur in einem Versuch deutlich verringert.

Dikotyle Arten traten verstärkt nach konventioneller Bodenbearbeitung sowie nach Direktsaat ohne Strohmulch auf. Die Strohmasse war besonders wirksam gegen dikotyle Arten nicht gegenüber Gräsern und perennierenden Arten. Im Vergleich zur Variante LBS wurde in allen Versuchen eine hinreichende Unterdrückung von zweiblättrigen Unkrautarten in den Varianten DS_{4M} bzw. DS_{6M} festgestellt. Im Mittel aller Versuche war ihre Unkrautabundanz um 81 (23 Pflanzen m^{-2}) bzw. 85 % (18 Pflanzen m^{-2}) nach Direktsaat mit Stroh (DS_{4M} und DS_{6M}) als nach Pflugbearbeitung (121,1 Pflanzen m^{-2}) vermindert (in fünf Versuchen signifikant).

Chenopodium album und *Matricaria* spp. waren die typischen Vertreter dikotyler Arten in allen Versuchen. Die höchste Abundanz der Kamille-Arten wurde nach Direktsaatverfahren (19 Pflanzen m^{-2} , Mittel der Versuche), die höchste Abundanz von *C. album* nach LBS (26 Pflanzen m^{-2}) ermittelt (Tab. 3). Sowohl *Matricaria*-Arten und *C. album* wurden in den Direktsaatvarianten mit Stroh (DS_{4M} und DS_{6M}) um 80 - 86 bzw. 95 - 96 % (5 - 4 bzw. 1 - 0,8 Pflanzen m^{-2} , Mittel der Versuche) im Vergleich mit LBS bzw. DS_{0M} hinreichend vermindert (in fünf bzw. vier Versuchen signifikant).

Tab. 2 Abundanz der untersuchten Unkrauttypen Pflanzen m⁻², BBCH 09-23) in Abhängigkeit von Anbauverfahren und Strohmasse. n.b.: nicht bestimmt.

Tab. 2 Abundance (plants m⁻², GS 09-23) of annual dicots, monocots and perennial weeds as affected by tillage and straw residues. n.b.: not determined.

Unkrautgruppen	Jahr	Versuche	LBS	DS _{0M}	DS _{4M}	DS _{6M}
		HEF	98,2ab	163,0a	12,6bc	5,5c
	2009	KÖG	24,0	61,6	24,0	16,1
		NIK	n.b.	n.b.	n.b.-	n.b.
Dikotyle Arten		WILL	336,3a	279,8a	21,3b	8,8b
		HEF	159,2a	39,8b	28,8b	22,1b
	2010	NIK	156,3	164,8	55,3	40,9
		PHO	50,6ab	83,8a	16,3b	28,1ab
		KÖG	23,4a	4,7b	4,7b	4,1b
		HEF	0,0b	8,0a	1,6b	0,6b
	2009	KÖG	6,8	5,7	7,7	3,6
		NIK	n.b.	n.b.	-n.b.	n.b.
Monokotyle Arten		WILL	1,3b	96,3a	81,9a	80,6a
		HEF	0,8c	36,0a	16,5ab	8,1bc
	2010	NIK	34,1a	9,7ab	1,9b	7,5b
		PHO	0,9c	32,5a	8,4b	4,4bc
		KÖG	12,5	20,0	30,0	15,3
		HEF	26,2b	212,1a	63,8ab	32,2b
	2009	KÖG	1,7b	25,0a	22,2a	12,2a
		NIK	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Perennierende Arten		WILL	5,2	26,5	54,9	43,4
		HEF	0,8b	35,8a	34,0a	27,5a
	2010	NIK	0,0	6,6	2,0	4,4
		PHO	8,0b	30,0ab	40,0a	31,9ab
		KÖG	1,3	3,1	2,2	1,3

Die Abundanz von *C. album* im Versuch HEF im Jahr 2010 war in den DS-Varianten unabhängig von der Strohaufgabe sowohl direkt auf der Ackerbohnen-Drillreihe (Verminderung um 95 %, Mittel aller Faktorstufen) als auch zwischen den Drillreihen (Verminderung um 73 %) signifikant niedriger als im LBS (Abb. 2). Nach Pflugbearbeitung wurde ein signifikanter Unterschied der Abundanz von *C. album* direkt auf und zwischen den Drillreihen festgestellt. Auf der Reihe war als Folge der hier noch weniger wirksamen Hackmaßnahme ein signifikant höheres Auftreten von *C. album* (85 %) als zwischen den Reihen messbar.

Tab. 3 Abundanz (Pflanzen m⁻², BBCH 09-23) von *Chenopodium album* und *Matricaria* spp. in Abhängigkeit von Anbauverfahren und Strohmasse.

Tab. 3 Abundance (plants m⁻²; GS 09-23) of *Chenopodium album* and *Matricaria* spp. as affected by tillage and straw residues.

Unkrautarten	Jahr	Versuche	LBS	DS _{0M}	DS _{4M}	DS _{6M}	
<i>Chenopodium album</i>	2009	HEF	61,7a	7,3b	1,0b	0,7b	
		KÖG	1,2	2,1	1,1	0,0	
		NIK	35,0a	0,0b	0,0b	0,0b	
	2010	WIL	18,1	20,2	3,1	4,4	
		NIK	37,5	94,1	33,1	21,9	
		HEF	44,4a	1,7b	2,7b	1,5b	
		PHO	6,3a	0,0b	0,0b	0,0b	
		KÖG	0,5	0,0	0,0	0,0	
	<i>Matricaria</i> spp.	2009	HEF	14,2b	68,9a	3,7b	1,1b
			KÖG	0,0	0,4	0,4	0,0
NIK			31,7a	12,1ab	0,0b	1,7b	
2010		WIL	8,1b	46,9a	0,9b	1,3b	
		NIK	5,6	0,0	0,0	0,0	
		HEF	38,3a	7,7b	2,1b	2,1b	
		PHO	0,0b	11,3a	0,6b	0,0b	
		KÖG	0,6	1,9	0,0	0,0	

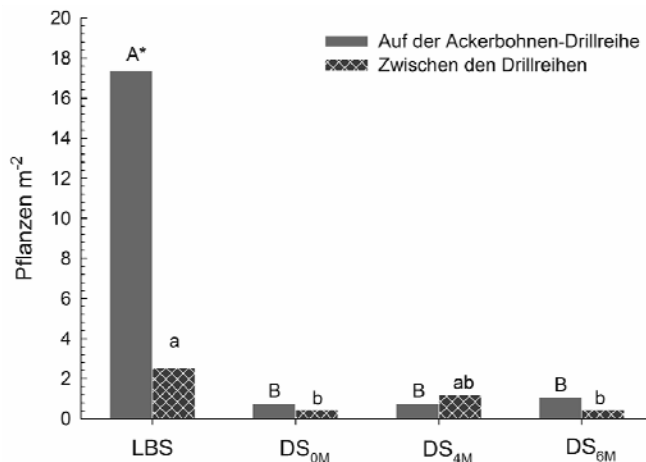


Abb. 2 Einfluss der Anbauverfahren und Strohmenge auf *Chenopodium album* (Pflanzen m⁻²) auf der Ackerbohnen-Drillreihe und zwischen den Drillreihen. Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren auf der Reihe; Kleinbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren zwischen den Reihen; Asterisk: *': Vergleich zwischen den Varianten „Auf der Drillreihe“ und „Zwischen den Drillreihen“.

Fig. 2 *Chenopodium album* (numbers of plants m⁻²) in the faba bean seed row and between the rows as affected by tillage and straw residues. Capital letters: comparison between tillage treatments in the seed row; lowercase letters: comparison between tillage treatments between the seed rows; asterisk: comparison between factors 'in the row' and 'between the rows'.

Der fördernde Effekt der Pflugbearbeitung auf die Ackerbohnen-Sprossentwicklung zeigte sich in allen Versuchen (Tab. 4). Die Spross-TM der Ackerbohne war in sechs von acht Versuchen zum frühen Entwicklungsstadium (Beginn der Blüte) im LBS im Vergleich mit mindestens einer DS-Variante signifikant höher. Im Durchschnitt aller Versuche war die Spross-TM nach LBS um 32 % (+ 68 g m⁻²) höher als im System DS (im Mittel der Faktorstufen). Im Versuch PHO war dieser Unterschied von 136 g m⁻² zwischen allen DS-Varianten und dem LBS – entsprechend 173 % höhere Ackerbohne-Spross-TM nach Pflugbearbeitung im Vergleich zum System DS – sehr deutlich ausgeprägt.

Die Kornerträge unterlagen einer hohen Spannweite der Versuchsmittel von 2,1 bis 3,9 t ha⁻¹ (Tab. 4). Im Versuchsjahr 2009 war der mittlere Kornertrag mit 3,2 t ha⁻¹ um etwa 0,6 t ha⁻¹ höher als im Versuchsjahr Jahr 2010. Im Versuchsjahr 2010 waren die Temperaturen im April im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich höher. Gleichzeitig ausbleibender Niederschlag direkt nach der Aussaat führte zu einer langsamen Ackerbohnenentwicklung darauffolgende Trockenperioden im Juni und Juli, verbunden mit über dem langjährigen Mittel liegenden Temperaturen resultierten in einer beschleunigten Abreife und vergleichsweise geringen Kornerträgen.

Tab. 4 Einfluss der Anbauverfahren und Strohmasse auf die Ackerbohnen Sprosstrockenmasse (g m⁻²) zum Beginn der Blüte (BBCH 55-67) und auf den Kornertrag (t TM 86 % ha⁻¹).

Tab. 4 *Faba bean shoot dry matter (g m⁻²) at the beginning of flowering (GS 55-67) and grain yield as affected by tillage system (loose soil husbandry: LBS; Direct seeding: DS) and straw residues.*

Parameter	Jahr	Versuche	LBS	DS _{0M}	DS _{4M}	DS _{6M}
Sprossmasse (g m ⁻²)	2009	HEF	276,6a	194,4b	229,0ab	230,3ab
		KÖG	319,5a	180,1b	190,4b	207,5b
		NIK	253,7a	229,1ab	217,9ab	181,1b
	2010	WILL	159,4	92,8	125,3	150,8
		HEF	106,1	84,7	93,2	101,0
		NIK	208,3a	115,2b	117,9b	95,7b
		PHO	214,5a	61,8b	86,4b	87,6b
		KÖG	167,5a	160,8ab	124,5bc	125,5c
	2009	HEF	3,7ab	3,1b	3,8a	3,9a
KÖG		2,7	2,9	2,7	3,0	
NIK		2,7	2,9	3,4	3,5	
Kornertrag (t 86 %TM ha ⁻¹)	2010	WILL	2,5a	1,2b	2,0ab	2,5a
		HEF	2,1	2,3	2,7	2,5
		NIK	3,6	2,4	2,8	2,1
		PHO	3,9a	1,0b	1,3b	1,4b
		KÖG	3,0	2,8	2,9	2,7

In fünf von acht Versuchen war der Kornertrag in den DS-Parzellen mit Strohmulch höher als in den Parzellen ohne Stroh (Tab. 4). Im Durchschnitt aller Versuche hatten die Ackerbohnen in den Varianten mit Strohmulch einen um 23 bzw. 36 % höheren Kornertrag verglichen mit den Parzellen ohne Mulch. Der Einfluss der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme (LBS vs DS) auf den Kornertrag wies bei Betrachtung aller Versuche keine einheitliche Tendenz auf. Der mittlere Kornertrag im LBS betrug 3,0 t ha⁻¹ und übertraf damit den Ertrag nach Direktsaat (Mittel aller Varianten) um etwa 16 %. Der absolut höchste Ertragsunterschied zwischen LBS (3,9 t ha⁻¹) und

Direktsaat ($1,2 \text{ t ha}^{-1}$) wurde in dem Versuch PHO festgestellt. In zwei weiteren Versuchen an den Standorten Niederkrüchten und Willich wurde im Jahr 2010 ebenfalls ein höherer Ertrag nach Pflug ($3,3$ und $2,6 \text{ t ha}^{-1}$) verglichen mit Direktsaat ($2,3$ und $1,8 \text{ t ha}^{-1}$) festgestellt.

Demgegenüber wurde hypothesengemäß in sieben von acht Versuchen kein signifikanter Einfluss der intensiven Bodenbearbeitung des LBS auf den Kornertrag im Vergleich zu mindestens einer DS-Variante mit Stroh festgestellt (Tab. 4). In vier Fällen (HEF 2009, HEF 2010, NIK 2009 und WIL 2010) wurde ein fördernder Effekt der Strohmenge bei Direktsaat auf den Kornertrag festgestellt. In den Versuchen HEF 2009 und NIK 2009 war der Kornertrag der Variante DS_{6M} z. T. signifikant höher ($+0,2$ und $0,8 \text{ t ha}^{-1}$) als im Lockerbodensystem.

Diskussion

In der vorliegenden Untersuchung war die Bodenbedeckung mit Strohmulch der Varianten DS_{4M} und DS_{6M} im Mittel aller Versuche um 66 bzw. 79 % signifikant höher als in der Variante DS_{0M} (Daten nicht dargestellt). Hypothesengemäß wurde die Abundanz annueller Unkräuter durch vier und sechs Tonnen Stroh (TM) ha^{-1} im System Direktsaat hinreichend verringert. Verschiedene Autoren stellten fest, dass bei zunehmender Mulchmasse verschiedener Pflanzenarten die Lichtinterzeption an der Bodenoberfläche exponentiell abnimmt und demzufolge das Unkrautauflkommen (TEASDALE und MOHLER, 2000). Im Gegensatz zum Lockerbodensystem mit Pflugeinsatz wird im System DS mit Stroh die Lichtinterzeption auf der Bodenoberfläche reduziert und somit der für zahlreiche photosensitive Unkrautsamen hellrote Lichtanteil. Viele Unkrautsamen benötigen einen Lichtreiz, um das Sensorpigment Phytochrom zu aktivieren und ihre Dormanz zu brechen (CASAL und SANCHEZ, 1998). Ein weiterer Erklärungsansatz für das geringe Unkrautauflkommen im Direktsaatverfahren in Strohmulch liegt in dem mechanischen Hindernis der Mulchdecke. Viele schattenintolerante Arten – das schließt die meisten Unkrautarten ein – erreichen den photosynthetischen Licht-Kompensationspunkt selbst unter einer Mulchmasse aus 6 t ha^{-1} (TEASDALE und MOHLER, 1993). Jedoch schöpfen viele Keimlinge unter einer dichten Mulchdecke ihre Energiereserven aus dem Samen vollständig aus, bevor sie das volle Tageslicht erreichen und sterben deshalb ab (HAMRICK und LEE, 1987; FACELLI und PICKETT, 1991). Da im Boden befindliche Unkrautsamen den Lichtreiz zur Keimung vorzugsweise während der Bodenbearbeitung erhalten (SCOPEL *et al.*, 1991), kann ihre Keimung bei Direktsaat gehemmt und dadurch die Anzahl auflaufender Unkräuter vermindert werden.

Neben der physikalischen Wirkung der Strohmasse kommen bei Hafer möglicherweise auch noch allelopathische Wirkungen zum Tragen, die die Keimung von Unkräutern reduzieren können. Bei der Zersetzung von Haferstroh wird die Freisetzung von Phenolsäuren beschrieben, deren Menge in der direkten Umgebung der Residuen hoch genug sein kann, um Keimung und Pflanzenwachstum zu verhindern (GUENZI *et al.*, 1967). Da mit zunehmender Masse des Haferstrohs der Ertrag der Ackerbohne gesteigert wurde und das Haferstroh ca. 6 Monate vor der Aussaat der Ackerbohnen auf der Bodenoberfläche ausgebracht wurde und deshalb die Konzentration der freigesetzten Allelochemikalien in Boden niedrig war, dürfte das Ackerbohnenwachstum kaum beeinträchtigt gewesen sein. Darüber hinaus kann eine niedrigere durchschnittliche Temperatur und Amplitude der Temperaturschwankungen in unbearbeiteten Böden mit Stroh die Keimruhe und Keimung von Unkräutern zusätzlich beeinflussen (BRISTOW, 1988; TEASDALE und MOHLER, 1993; BENECH-ARNOLD *et al.*, 2000). Dieser Sachverhalt ist vermutlich in dem geringeren Anteil luftführender Poren des Bodens mit einer die Sonnenstrahlung reflektierenden Mulchauflage begründet, die zu feuchteren und kühleren Böden im Frühjahr vor allem in den gemäßigten Klimazonen führt.

Die oberflächliche Strohapplikation und der Pflugverzicht bewirkten in der vorliegenden Untersuchung vor allem die Verminderung dikotyler Arten. Besonders wirksam erwies sich die Mulchauflage im System DS mit Stroh gegen die Keimung von Kamille-Arten. Die Verschlammungszeiger *Matricaria* spp. sind photosensitive Unkrautarten (SCOPEL *et al.*, 1991) und werden im System DS hinreichend durch Stroh reduziert. Die höhere Abundanz der Kamille-Arten

im LBS und im DS System ohne Stroh ist vermutlich durch (i) die Bodenversiegelung der weniger geschützten Bodenoberfläche ohne Strohbedeckung begründet und (ii) durch die Fähigkeit im Herbst und Winter nach Pflugverzicht photosynthetisch aktiv zu sein.

Im Zuge der Seneszenz der Ackerbohne kommt es zu verstärktem Blattfall aus dem rasch Stickstoff frei wird. Mit dem ‚Verkahlen‘ der Bestände sinkt die Konkurrenzkraft der Kulturpflanze gegenüber spätkeimenden Unkrautarten beträchtlich, es gelangt mehr Licht in den Bestand und das Risiko der Spätverunkrautung mit *C. album* ist erhöht. Der spätkeimende nitrophile Weiße Gänsefuß ist im üblichen Ackerbohnenanbau ein Problemunkraut. Es gedeiht nach Pflugbearbeitung besonders gut, da durch den Eingriff des Pfluges auch die sekundäre Dormanz mittels hoher Lichteinstrahlung und Bodentemperaturen sowie Stickstoffmineralisation gebrochen wird. Bodenlockerung und ein günstiges Saatbett sowie hohe Stickstoffverfügbarkeit können die Keimung und Entwicklung dieser Art fördern. Im System DS ist die Wahrscheinlichkeit der Brechung der sekundären Dormanz bei ausbleibender Bodenbearbeitung deutlich geringer und die Samen bleiben in Keimruhe. Die Verunkrautung mit *C. album* ist vor allem direkt auf der Ackerbohnen-Drillreihe nach Pflugbearbeitung am höchsten, da die Unkräuter hier durch die Hackschare nicht erreicht und durch den Erdstrom nicht hinreichend bedeckt werden, gleichwohl aber durch die Strohmasse in den Direktsaatvarianten mit belassenen Ernteresten. Temporäre Direktsaat in Strohmulch stellt im Ökologischen Landbau somit eine Möglichkeit zur Kontrolle der Lichtkeimer wie Kamille-Arten und typisch spätkeimenden Arten wie den Weißen Gänsefuß dar.

Zur Regulation von Gräsern und perennierenden Arten ist Direktsaat in Strohmulch ungeeignet. Perennierende Arten können durch die Inanspruchnahme eingelagerter Assimilate auch Mulchdecken höherer Mächtigkeit durchdringen (TEASDALE und MOHLER, 2000) und realisieren durch ihren Wachstumsvorsprung gegenüber annualen Pflanzen einen Konkurrenzvorteil. Neben der höheren Anreicherung von Diasporen an der Bodenoberfläche verfügen monokotyle Arten über eine nur kurze Dormanz, so dass Keimlinge den photosynthetischen Licht-Kompensationspunkt schneller erreichen können (SPRENGER, 2004). Die Verwendung der Strohmasse als primäre Grundvoraussetzung für Direktsaatverfahren kann folglich nur dann für ackerbauliche Zwecke (Unkrautregulation) im Ökologischen Landbau genutzt werden, wenn der standortbedingte Unkrautdruck mit Perennierenden und Gräsern niedrig ist.

Als Ursachen für die verzögerte Jugendentwicklung der Ackerbohnen im System DS werden in der Literatur vornehmlich die geringere Durchlüftung des dichtlagernden Bodens (niedriger Grobporenanteil) und eine retardierte Stickstoffmineralisation im Frühjahr angegeben (BAEUMER, 1992; LINKE, 1998). Obwohl die Bestände im LBS wüchsiger waren, konnten signifikante Ertragsdifferenzen durch DS mit Strohrestmassen von mindestens 4 t ha⁻¹ in den meisten Fällen vermieden werden. Die höheren Kornerträge der Ackerbohnen nach Direktsaat in Strohmulch erklären sich durch die günstigere Ackerbohnenentwicklung im späteren Vegetationsverlauf und die Kompensation des verzögerten vegetativen Wachstums der Kulturpflanze aufgrund der unkrautunterdrückenden Wirkung der Strohmasse sowie des günstigeren Bodengefüges im Oberboden unter der Mulchdecke. Direktsaat mit Mulch reduziert die Evaporation und kann den Ackerbohnen bei Frühjahrs- und Sommertrockenheit eine günstigere Wasserversorgung – auch durch tiefere Durchwurzelung des Bodens – schaffen, ein Sachverhalt, der insbesondere zum Stadium der Blüte ertragsrelevant ist. Dennoch kann verzögertes Kulturpflanzenwachstum im System DS auch die Gefahr gesteigerter Ertragsunsicherheit bergen. In dem Versuch am Standort Petershohn (PHO) wurde den höchsten Ertragsunterschied zwischen LBS (3,9 t ha⁻¹) und Direktsaat (1,2 t ha⁻¹) festgestellt. Eine Erklärung für den hohen Ertragsunterschied in diesem Versuch liegt in den gegebenen Standorteigenschaften nach Pflugverzicht, zu denen u.a. Staunässe im Frühjahr und mangelnde Belüftung zählten.

Die Machbarkeit der temporären Direktsaat von Ackerbohnen im Ökologischen Landbau wird durch individuelle Standortfaktoren bestimmt, da die Mulchaufgabe nur annuelle Unkräuter regulieren kann. Entscheidendes Kriterium in der Praxis ist die hohe Verfügbarkeit von Strohmasse. Vor allem für Marktfruchtbetriebe ohne Viehhaltung, die keinen Einstreubedarf für die

Tierhaltung haben, kann der Anbau von Ackerbohnen in Direktsaatverfahren von großer Bedeutung sein. Die produzierten Strohreste der Vorfrucht sind hoch, werden seltener anderweitig genutzt und stehen umfänglicher für den Zweck der Unkrautregulierung zur Verfügung. Der Ansatz ist jedoch mit Opportunitätskosten verbunden, wenn dieses Stroh alternativ verkauft würde. Insbesondere für viehlose Ackerbaubetriebe in der Umstellung kann die Nutzung von Getreidestroh eine geeignete Option zur Unterdrückung annueller Unkräuter in direkt gesäten Ackerbohnen darstellen, weil der Unkrautdruck, vor allem von Gräsern und Wurzelunkräutern, aufgrund der Vorbewirtschaftung i. d. R. gering ist.

Künftig werden die häufiger auftretenden Wetterextreme neue Herausforderung für die Landwirtschaft darstellen. Erosionsgefährdete Betriebe des Ökologischen Landbaus können durch die Anwendung einer temporären Direktsaat von Ackerbohnen in Strohmulch der Hafer-Vorfrucht und der einhergehenden Förderung der Bodenfruchtbarkeit sowohl ökologisch als auch ökonomisch negativen Auswirkungen gegensteuern. In Kombination mit einer mittel- und kurzfristiger Gestaltung der Fruchtfolge wird die Intensität der Bodenbearbeitung individueller angepasst werden (*opportunistic tillage*). Weitere Untersuchungen sind nötig, um die Standorteignung zum erfolgreichen Einsatz temporärer Direktsaat – insbesondere betreffend die Segetalflora, als auch die Entwicklung eines günstigen Bodengefüges unter Mulch – sicher ansprechen zu können.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Verbundprojektes „Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit: Anbau von Ackerbohnen und Körnererbsen mit Mulchsaatverfahren“ durchgeführt und vom „Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft“ gefördert.

Literatur

- CASAL, J. J. und R. A. SANCHEZ, 1998: Phytocromes and seed germination. *Seed Sci. Res.* **8** (3), 317-329.
- BAEUMER, K., 1992: Allgemeiner Pflanzenbau. Stuttgart, Eugen Ulmer GmbH und Co., 544.
- BARBERI, P., 2002: Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Res.* **42** (3), 177-193.
- BENECH-ARNOLD, R. L., R. A. SANCHEZ, F. FORCELLA, B. C. KRUK und C. M. GHERSA, 2000: Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crop Res.* **67** (2), 105-122.
- BRISTOW, K., 1988: The role of mulch and its architecture in modifying soil temperature. *Aust. J. Soil Res.* **26** (2), 269-280.
- FACELLI, J. M. und S. T. A. PICKETT, 1991: Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure. *Bot. Rev.* **57** (1), 1-32.
- GUENZI, W. D., T. M. MCCALLA und F. A. NORSTADT, 1967: Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat oat corn and sorghum residues. *Agron. J.* **59** (2), 163-165.
- HAMRICK, J. L. und J. M. LEE, 1987: Effect of soil surface topography and litter cover on the germination, survival, and growth of musk thistle (*Carduus nutans*). *Am. J. Bot.* **74** (3), 451-457.
- LINKE, C., 1998: Direktsaat - eine Bestandsaufnahme unter besonderer Berücksichtigung technischer, agronomischer und ökonomischer Aspekte. Stuttgart, Institut für Agrartechnik in den Tropen und Subtropen, Universität Hohenheim, 482.
- MÄDER, P. und A. BERNER, 2012: Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renew. Agr. Food Syst.* **27** (1), 7-11.
- SCOPEL, A. L., C. L. BALLARÉ und R. A. SANCHEZ, 1991: Induction of extreme light sensitivity in buried weed seeds and its role in the perception of soil cultivations. *Plant Cell Environ.* **14** (5), 501-508.
- SPRENGER, B., 2004: Populationsdynamik von Ackerwildpflanzen im integrierten und organischen Anbausystem. München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität München, 151.
- TEASDALE, J. R. und C. L. MOHLER, 2000: The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.* **48** (3), 385-392.
- TEASDALE, J. R. und C. L. MOHLER, 1993: Light transmittance, soil-temperature, and soil-moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* **85** (3), 673-680.

Unkraut unterdrückende Wirkung von Saatwicken in Reinsaat und im Gemengeanbau mit Hafer in Abhängigkeit von Aussaatstärkenverhältnis und Wickensorte

Weed suppressive effect of common vetches in sole and intercrops with oat depending on seed density ratio and cultivar of vetch

Herwart Böhm

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland
herwart.boehm@ti.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.061

Zusammenfassung

Saatwicken (*Vicia sativa* L.) werden derzeit vor allem in Zwischenfruchtgemengen angebaut. Sie zeichnen sich hierbei durch eine hohe Biomassebildung mit guter Durchwurzelungsintensität und einer guten Unkraut unterdrückenden Wirkung aus. Möglich ist jedoch, wenn auch nur im Gemengeanbau mit einer Stützfrucht, der Anbau als Körnerleguminose. Die Samen der Saatwicke weisen hohe Proteingehalte und eine gute Aminosäurezusammensetzung auf, sodass sie als eiweißhaltiges, betriebseigenes Futtermittel genutzt werden können. Eine mechanische Unkrautregulierung stellt sich in Wickenbeständen als schwierig dar. Daher wurde die unkrautunterdrückende Wirkung von unterschiedlich zusammengesetzten Wicken-Hafer-Gemengen untersucht. Hierzu wurden in den Jahren 2011 und 2012 am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau Feldversuche mit den Wickensorten Berninova, Ina, Jaga, Toplesa und Slovena in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer angelegt. Die Gemenge wurden in drei unterschiedlichen Aussaatstärkenverhältnissen angebaut (75% Wicke mit 25 % Hafer; 50 % Wicke mit 50 % Hafer; 25 % Wicke mit 75 % Hafer der jeweiligen Reinsaat-Aussaatstärke). Während der Vegetationsperiode erfolgte zur Erfassung der Unkrautbiomasse eine Probenahme zum Zeitpunkt der Blüte der Wicken und eine weitere zum Zeitpunkt der Ernte. Die Auswertung der bislang zweijährigen Ergebnisse zeigten Wechselwirkungen zwischen den geprüften Saatwickensorten und den Aussaatstärkenverhältnissen als auch zwischen den Sorten und den Probenahmeterminen. Dabei wies die Unkrautbiomasse in den verschiedenen Gemengen einer Sorte in den meisten Fällen vergleichbare Abstufungen auf. So wurde die höchste Unkrautbiomasse, mit Ausnahme der Sorte Slovena, in den Reinsaaten, die geringste in den Gemengevarianten mit einem Anteil von 75 % Hafer ermittelt. In den Reinsaaten wies die Sorte Toplesa aufgrund ihres weniger blattreichen und aufrechteren Wuchstyps sowie eines schlechten Feldaufganges die signifikant höchste Unkrautbiomasse auf, gefolgt von der Sorte Ina. Die sortenbedingte Unterschiede nahmen mit zunehmenden Anteilen des Hafers in der Saatmischung ab, sodass in den Gemengen mit 50 % und 75 % Hafer keine signifikanten Unterschiede mehr auftraten.

Stichwörter: Ökologischer Landbau, Saatstärke, Sorte, Unkrautunterdrückung, *Vicia sativa*

Abstract

Seed vetches (*Vicia sativa* L.) are currently grown mainly in catch crop mixtures. They are characterized by a high biomass production with a good rooting intensity and good weed suppressing effect. However, common vetches can be cultivated as a grain legume, but in this case only as an intercrop together with a supporting crop. The seeds of common vetch have a high protein content and a good amino acid composition, so that it can be used as a high protein, on-farm produced feedstuff. Mechanical weed control is difficult in common vetch cultivation. So the weed suppressing effect of different vetch-oat-mixtures was investigated. Field trials were conducted at the Thünen-Institute of Organic Farming with the vetch cultivars Berninova, Ina, Jaga, Toplesa and Slovena in pure stands and in intercrops with oat in the years 2011 and 2012. The intercrops were sown in three different seed density ratios (75% vetch with 25% oat, 50% vetch with 50% oat, 25% vetch with 75% oat of the respective sole seed density). During the growing season weed biomass was harvested, once at the time of flowering of common vetch and another sample was taken at the time of harvest. The evaluation of the two-year results showed interactions between the tested cultivars and the seed density ratios as well as between cultivars and the sampling time. Weed biomass showed in the different mixtures within a cultivar in most cases comparable graduations. The highest weed biomass, with the exception of the cultivar Slovena, was determined in pure stands, the lowest one in the mixture with a share of 75% oat. In pure stands, Toplesa showed due to their less leafy and upright growth type as well as a lower field emergence, the significantly highest weed biomass, followed by the cultivar Ina. The cultivar related differences decreased with increasing

amounts of oat in the seed mixture, so that no significant differences were evident in the mixtures with 50% and 75% oat.

Keywords: Cultivar, organic farming, seed density, weed suppression, *Vicia sativa*

Einleitung

Der Anbau der Saatwicke (*Vicia sativa* L.) erfolgt in unseren Breitengraden derzeit vor allem in Zwischenfruchtgemengen. Dabei zeichnet sie sich durch hohe Biomasserträge mit guter Durchwurzelungsintensität aus. Ebenso wird die gute unkrautunterdrückende Wirkung der Saatwicke geschätzt, die durch mehrere Untersuchungen belegt ist (BRUST *et al.*, 2011; KITIS *et al.*, 2011). Die Saatwicke kann aber auch als Druschfrucht angebaut werden. Hier weist sie hohe Proteingehalte und eine gute Aminosäurezusammensetzung auf (OTT *et al.*, 2005), so dass die Saatwicke als eiweißhaltiges, betriebseigenes Futtermittel von Interesse sein könnte. In Deutschland ist die Anbaufläche jedoch seit 1964 von 13.923 ha bis 1994 auf 200 ha zurückgegangen (FAOSTAT). Seit 1995 wird sie nicht mehr in der FAO-Statistik geführt. VOGT-KAUTE (2008) erfasste 2007 13 Naturland-Betriebe mit 32 ha Wicke im Hauptfruchtanbau. Die sinkende Bedeutung der Kultur wird auch am Rückgang der zugelassenen Sorten deutlich. Waren 1997 noch 8 Sorten zugelassen, so wies die Bundessortenliste 2007 nur noch 3 Sorten auf (VOGT-KAUTE, 2008). Derzeit sind lediglich die beiden Sorten Berninova und Ebena mit der Eignung für den Zwischenfruchtanbau zugelassen (BUNDESSORTENAMT, 2013). Im europäischen und außereuropäischen Ausland stehen jedoch weitere Sorten zur Verfügung. Die Saatwicke könnte aufgrund ihrer relativ geringen Standortansprüche im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie des BMELV (BMELV, 2012) dazu beitragen, die Eiweißversorgung aus heimischer Produktion zu steigern bzw. zu verbessern. Die geringe Standfestigkeit der Saatwicke erlaubt jedoch nur einen Anbau im Gemenge. Eine mechanische Unkrautregulierung gestaltet sich in Wickenbeständen als schwierig, sodass auch diesbezüglich ein Gemengeanbau vorteilhaft ist. Daher wurde der Frage nachgegangen, wie ein Gemengeanbau von Saatwicken und Getreide gestaltet werden muss, damit einerseits eine ausreichende Stützfruchtwirkung des Getreidepartners eine gute Beerntbarkeit der Bestände erlaubt und andererseits eine ausreichende Unkrautunterdrückung gewährleistet ist. In diesem Beitrag wird auf die unkrautunterdrückende Wirkung eingegangen. Es sollte geklärt werden, ob die zur Verfügung stehenden Sorten über ein unterschiedliches Unkrautunterdrückungspotential verfügen und welche Saatstärkenverhältnisse von Wicke und dem Gemengepartner Hafer eine gute unkrautunterdrückende Wirkung gewährleisten.

Material und Methoden

In den Jahren 2011 und 2012 wurden in Schleswig-Holstein am Standort Trenthorst (sandiger Lehm, pH 6,7, 706 mm Niederschlag, 8,8 °C Jahresdurchschnittstemperatur) Feldversuche als Blockanlage in 4-facher Feldwiederholung mit den Wickensorten Berninova, Ina, Jaga, Toplesa und Slovena in Reinsaat (120 Körner m⁻²) und im Gemenge mit Hafer (Sorte Galaxy, Reinsaat 350 Körner m⁻²) angelegt. Die Gemenge wurden in drei unterschiedlichen Aussaatstärkenverhältnissen angebaut (75 % Wicke mit 25 % Hafer; 50 % Wicke mit 50 % Hafer; 25 % Wicke mit 75 % Hafer der jeweiligen Reinsaat-Aussaatstärke). Die Aussaat erfolgte am 30.03.2011 bzw. am 27.03.2012 in Parzellen mit einer Größe von 15 x 2,75 m. Während der Vegetationsperiode erfolgte zum Zeitpunkt der Blüte der Wicken (21.06.2011 bzw. 03.07.2012) eine Beerntung der oberirdischen Biomasse, wobei der Aufwuchs auf einer Fläche von 0,5 m² getrennt nach Unkrautbiomasse und der Biomasse der Gemengepartner erfolgte. Zur Ernte (24.08.2011 bzw. 22.08.2012) wurde eine Handbeerntung der Parzellen auf einer Fläche von 1,0 m² durchgeführt, bei der wiederum die Unkrautbiomasse als auch der Korn- und Strohertrag erfasst wurde. In dem Versuch erfolgte keine mechanische Unkrautbekämpfung, um die unkrautunterdrückende Wirkung in den Hafer-Wicken-Gemengen bewerten zu können. Die Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe der Prozedur MIXED in SAS 9.2, wobei die Zeitreihenanalyse eingesetzt wurde und das Versuchsjahr als zufälliger Faktor im Rahmen der random-Anweisung berücksichtigt wurde.

Ergebnisse

Die statistische Verrechnung zeigte für die Unkrautbiomasse signifikante Wechselwirkungen zwischen den geprüften Saatwickensorten und den Aussaatstärkenverhältnissen ($p < 0,0001$) als auch zwischen den Sorten und den Probenahmeterminen ($p = 0,0024$), nicht aber zwischen den Saatstärkenverhältnissen und den Probenahmeterminen ($p = 0,6241$). Eine Dreifach-Wechselwirkung ($p = 0,0858$) lag nicht vor.

Die Unkrautbiomasse war in den Reinsaaten mit Ausnahme der Sorte Slovena im Vergleich zu den geprüften Gemengen am höchsten und nahm, wiederum mit Ausnahme der Sorte Slovena, mit zunehmenden Anteilen an Hafer in den Gemengen ab (Abb. 1). Am deutlichsten ausgeprägt war dieser Effekt bei der Sorte Toplesa, die in der Reinsaat die signifikant höchste Unkrautbiomasse im Vergleich zu den anderen Aussaatstärkenverhältnissen aufwies. Allerdings waren die Unterschiede nicht in jedem Fall signifikant, wie die Ergebnisse der Sorte Berninova verdeutlichen. Die Sorte Ina zeigte wiederum in der Reinsaat eine signifikant höhere Unkrautbiomasse gegenüber allen anderen Gemengevarianten, während bei der Sorte Jaga die Unkrautbiomasse in der Reinsaat nur gegenüber der Gemengevarianten mit dem Aussaatstärkenverhältnis von 25 % Wicke und 75 % Hafer der jeweiligen Reinsaatstärke eine signifikant höhere Unkrautbiomasse aufwies. Signifikante Unterschiede zwischen den Gemengevarianten lagen nur zum Teil vor, wobei bei keiner der geprüften Sorten ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten mit den Aussaatstärkenverhältnissen von 50 % Wicke mit 50 % Hafer und 25 % Wicke und 75 % Hafer vorlag.

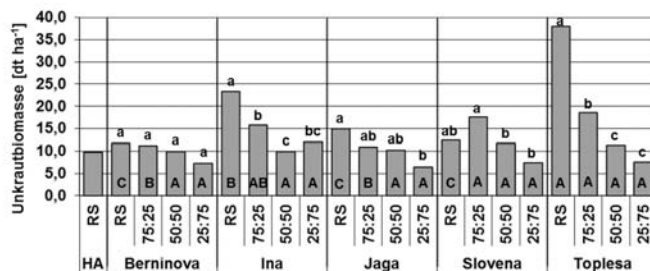


Abb. 1 Unkrautbiomasse [dt ha⁻¹] in den Reinsaaten und den Gemengevarianten von Saatwicken und Hafer in Abhängigkeit von Wickensorte und Aussaatstärkenverhältnis im Mittel der Probenahmetermine Blüte und Ernte sowie der beiden Versuchsjahre 2011 und 2012 (RS=Reinsaat, HA=Hafer, kleine unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P < 0.05$) zwischen den Aussaatstärkenverhältnissen innerhalb einer Sorte, große unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten innerhalb eines Aussaatstärkenverhältnisses).

Fig. 1 Weed biomass [dt ha⁻¹] in pure stands and intercropping systems of common vetch and oat depending on cultivar of common vetch and seed density ratio as a means of sampling date flowering and harvest time as well as both years 2011 and 2012 (RS= pure stand, HA=oat, different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between the seed density ratios within each cultivar, different capital letters indicate significant differences between cultivars within each seed density ratio).

Sortenunterschiede waren in den Reinsaaten am deutlichsten ausgeprägt (Abb. 1). Hier zeigte die Sorte Toplesa die signifikant höchsten Werte, gefolgt von der Sorte Ina, die wiederum signifikant höhere Werte aufwies als die Sorten Berninova, Jaga und Slovena. Die drei letztgenannten Sorten unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Bei den geprüften Gemengen zeigten sich nur noch bei dem Aussaatstärkenverhältnis von 75 % Wicke und 25 % Hafer sortenbedingte Unterschiede, die jedoch nicht mehr so ausgeprägt waren wie bei den Reinsaaten. Die Gemengevarianten mit 50 % bzw. 75 % der Reinsaatstärke des Hafers zeigten keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit der Sorten.

Die Aufwuchsmenge an Unkrautbiomasse verhielt sich unterschiedlich in Abhängigkeit der Sorten und der Probenahmeterminen. Hier zeigten insbesondere die Sorten Ina und Toplesa, aber auch Slovena zur Ernte signifikant höhere Werte als bei der ersten Probenahme zum Zeitpunkt der Blüte, während bei den Sorten Berninova und Jaga keine signifikanten Änderungen auftraten. Bei der ersten Probenahme zum Zeitpunkt der Blüte wies die Sorte Toplesa die höchste Unkrautbiomasse auf, die aber nur gegenüber der Sorte Berninova signifikant höher war. Zur zweiten Probenahme zum Zeitpunkt der Ernte wies wiederum die Sorte Toplesa die höchsten Werte auf, aber auch die Sorte Ina zeigte vergleichbare Werte, wobei diese gegenüber den anderen Sorten als signifikant höher ausgewiesen wurden. Im Vergleich zum Hafer, der in der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt werden konnte, wiesen zum ersten Termin alle Wickenvarianten leicht höhere Unkrautbiomassen auf. Zum Zeitpunkt der Ernte zeigten die Sorten Toplesa und Ina höhere, die Sorten Berninova, Jaga und Slovena niedrigere oder mit dem Hafer vergleichbar hohe Werte.

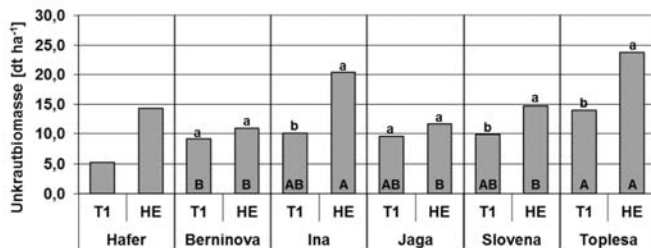


Abb. 2 Unkrautbiomasse [dt ha⁻¹] zur Blüte (T1) und Ernte (HE) in Abhängigkeit der Wickensorten im Mittel der Gemeengevarianten und der beiden Versuchsjahre 2011 und 2012 im Vergleich zur Unkrautbiomasse in den Reinsaat des Hafers (unterschiedliche kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P < 0.05$) zwischen den Probenahmeterminen innerhalb einer Sorte, große unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten innerhalb eines Probenahmetermins).

Fig. 2 Weed biomass [dt ha⁻¹] at flowering (T1) and harvest time (HE) depending on cultivar of common vetch as a means of the intercropping systems and both years 2011 and 2012 (different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between sampling date within each cultivar, different capital letters indicate significant differences between cultivars within each sampling date).

Diskussion

Anhand der dargestellten Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass sowohl die Wickensorte als auch die Gemeengevarianten hinsichtlich ihrer Anteile an Wicken und Hafer in der Saatmischung einen erheblichen Einfluss auf die Unkrautentwicklung bzw. die gebildete Unkrautbiomasse haben. Die höhere Unkrautbiomasse in der Reinsaat aber auch in den Gemeengevarianten der Sorte Toplesa (Abb. 1) können zum einen auf die etwas aufrechtere Wuchsform bei gleichzeitig geringerer Biomassebildung, zum anderen aber auch auf den deutlich geringeren Feldaufgang dieser Sorte in beiden Versuchsjahren zurückgeführt werden. Die Sorte Ina wies in der Reinsaat die zweithöchste Unkrautbiomasse auf (Abb. 1), wobei sie, wie auch die Sorte Toplesa, zum Zeitpunkt der Ernte eine deutlich höhere Unkrautbiomasse zeigte als zur ersten Beprobung zur Vollblüte. Somit scheint diese Sorte, ebenso wie Toplesa, weniger konkurrenzstark zu sein als die Sorten Berninova, Jaga und Slovena. Die Sorte Ina reift etwas früher ab als die übrigen Sorten, sodass dies ebenfalls zu der höheren Spätverunkrautung beigetragen haben könnte.

Deutlich wurde auch die gute Unkraut unterdrückende Wirkung des Hafers, die insbesondere in der recht langsamen Jugendentwicklungsphase der Saatwicken zum Tragen kommt. Damit stimmen diese Ergebnisse mit einer Vielzahl von Untersuchungen zum Gemeengeanbau von anderen Körnerleguminosen, wie z. B. Erbse mit Hafer als Getreidepartner überein (KIMPEL-FREUND *et al.*, 1998; GRONLE und BÖHM, 2011, 2012; BEGNA *et al.*, 2011). Hervorzuheben ist, dass mit

zunehmendem Anteil an Hafer in den Saatmischungen keine Unterschiede hinsichtlich der Unkrautbiomasse in Abhängigkeit der Wickensorten auftraten. In den hier vorgestellten Untersuchungen konnte dieser Effekt ab einem Anteil von 50 % Hafer in der Saatmischung festgestellt werden. Dieser Anteil ist ebenfalls notwendig, um eine ausreichende Stützkraftwirkung des Hafers hinsichtlich einer guten Beerntbarkeit zu erzielen (BÖHM, 2013).

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des EU-Projektes „Legume Futures“ durchgeführt und durch das 7. Forschungsrahmenprogramm gefördert (FKT 245216 CP-FP).

Literatur

- BÖHM, H., 2013: Anbau der Saatwicke (*Vicia sativa* L.) im Gemenge mit Hafer - eine Alternative in der Körnerleguminosenproduktion? Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. **25**, 80-81.
- BMELV (2012): Eiweißpflanzenstrategie des BMELV. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 13 S..
- BUNDESSORTENAMT, 2013: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte.
- BEGNA, S. H., D. J. FIELDING, T. TSEGAYE, R. VAN VELDHIJZEN, S. ANGADI und D. L. SMITH, 2011: Intercropping of oat and field pea in Alaska: An alternative approach to quality forage production and weed control. Acta Agr Scand B-S P **61**, 235-244.
- BRUST, J., R. GERHARDS, T. KARANISA, L. RUFF und A. KIPP, 2011: Why Undersown and Cover Crops Become Important Again for weed Suppression in European Cropping Systems. Gesunde Pflanzen **63**(4), 191-198.
- GRONLE, A. und H. BÖHM, 2011: Unkrautauflkommen und Ertragsleistung beim Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung. Landbauforschung SH **346**, 15-22.
- GRONLE, A. und H. BÖHM, 2012: Kann ein Mischfruchtanbau von Erbsen und Getreide bei flachwendender Bearbeitung das im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung vorhandene höhere Unkrautauflkommen im Ökologischen Landbau kompensieren? Julius-Kühn-Archiv **434**, 243-249.
- KIMPEL-FREUND, H., K. SCHMIDTKE und R. RAUBER, 1998: Einfluss von Erbsen (*Pisum sativum* L.) mit unterschiedlichen morphologischen Merkmalen in Reinsaat und Gemenge mit Hafer (*Avena sativa* L.) auf die Konkurrenz gegenüber Unkräutern. Pflanzenbauwissenschaften **2**, 25-36
- KITIS, Y. E., O. KOLOREN und F. N. UYGUR, 2011: Evaluation of common vetch (*Vicia sativa* L.) as living mulch for ecological weed control in citrus orchards. Afr. J. Agr. Res. **6**(5), 1257-1264.
- OTT E., K. FRIEDEL und M. GABEL, 2005: Untersuchungen zum Futterwert von Wicken (*Vicia sativa*). 117. VDLUFA-Kongreß, Bonn, 40.
- VOGT-KAUTE, W., 2008: Der Stand der Züchtung von Körnerleguminosen in Bayern, Deutschland und angrenzenden Ländern. Hohenkammer, 28 p.

From organic to conventional cropping – subsequent effects on weed incidence

Wechsel vom ökologischen zum konventionellen Landbau – Auswirkungen auf die Verunkrautung

Jukka Salonen* and Terho Hyvönen

MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, FI-31600 Jokioinen, Finland

*Corresponding author, jukka.salonen@mtt.fi



DOI 10.5073/jka.2014.443.062

Abstract

In Finland, repeated weed surveys in spring cereals are carried out to follow the changes in weed populations. Organic farming gained popularity in the late 1990s but now some farms have returned back to conventional cropping. In consequence, weed infestation level declined substantially in such fields. Slightly higher abundance of some weed species was observed compared with the fields under continuous conventional cropping. Still, organic cropping did not pose any marked subsequent weed problems which could not be managed with chemical control and crop competition.

Keywords: Biodiversity, organic farming, spring cereals, weed survey, weed shift

Zusammenfassung

Anhand wiederholter Aufnahmen der Verunkrautung auf Ackerflächen mit Sommergetreide in Finnland lassen sich Änderungen der Unkrautpopulationen verfolgen. Nach einem höheren Anteil des ökologischen Landbaus in den 1990er-Jahren sind jetzt einige Betriebe wieder zu konventioneller Bewirtschaftung übergegangen. Auf so bewirtschafteten Feldern ließ sich im Vergleich zur Situation auf den 10 Jahre zuvor ökologisch bewirtschafteten Äckern ein beträchtlicher Rückgang der Verunkrautung feststellen. Bei ständiger konventioneller Bewirtschaftung wurde eine leicht erhöhte Abundanz einiger Arten beobachtet. Durch einen ökologischen Landbau werden keine Unkrautprobleme geschaffen, die nicht mit chemischer Unkrautbekämpfung und Konkurrenz der Kulturpflanzen behoben werden können.

Stichwörter: Biodiversität, Sommergetreide, Unkrauterhebung, Veränderung der Verunkrautung, ökologischer Landbau

Introduction

As cropping practices change, the habitat in which weeds grow is altered and changes in weed populations result. Repeated weed surveys in Finnish spring cereal fields track the weed shift in relation to the crop management. Monitoring results are available both from conventionally and organically cropped fields. Organic cropping gained popularity in the late 1990s when many farms moved into organic farming. Recently, some of these farms have returned back to conventional cropping.

In this study, subsequent effects of organic cropping in conventionally cropped fields were studied by comparing the weed occurrence in the conventionally cropped spring cereals fields which had been under organic cropping when surveyed ten years earlier. We expected that organic cropping results in some long-term changes in weed incidence. For instance RIESINGER and HYVÖNEN (2006) found increased abundance of *Elymus repens* as a function of the duration of organic farming. We wanted to explore how efficiently weeds are controlled with conventional practices after that the fields had been organically cropped for some time, either for one or two 5-year contract period.

Material and Methods

National weed surveys in spring cereals (barley, oat, wheat) have been carried out in Finland since the early 1960s. Monitoring data used in this report derive from two consecutive surveys conducted in southern and central Finland in 1997-1999 (SALONEN *et al.*, 2001) and ten years later in 2007-2009 (SALONEN *et al.*, 2011).

The number of farms visited was 283 and one to five spring cereal fields were examined on each farm, giving a total of 382 fields which were the same in both decades. Altogether 46 fields under

organic cropping in the 1990s had switched back to conventional cropping and chemical weed control ten years later. Altogether 297 fields that had been all the time under conventional cropping were used as reference fields.

The same sampling protocol of weeds was followed in both decades. Weed occurrence was assessed by counting and weighing all weed species from randomly established sample quadrates in mid July – early August. Weed density was determined from 10 quadrates with a rectangular frame measuring 0.1 m² (25 cm x 40 cm). The air-dry biomass of weeds was weighed from four out of these ten quadrates. The frequencies of occurrence indicate the proportion of fields where each weed species was found. A detailed description of survey regions and sampling protocol is available in the recent article (SALONEN *et al.*, 2011).

Results

In general, the frequency of occurrence of many weed species declined significantly in conventional cropping (Fig. 1). However, some species, like *Galium spurium* and *Taraxacum spp.*, were more frequent now in conventional fields compared with the earlier years under organic cropping. This trend was observed also in the fields under continuous conventional cropping. As subsequent effect of organic cropping, the frequencies of *Chenopodium album*, *Fallopia convolvulus* and *Spergula arvensis* were still about 15% units higher than in the continuous conventional cropping.

The average number of weed species per field had been 18 in the years under organic cropping and had now declined to 14 in conventional cropping, being slightly higher than the average number of weed species, 12, observed in other conventionally cropped survey fields.

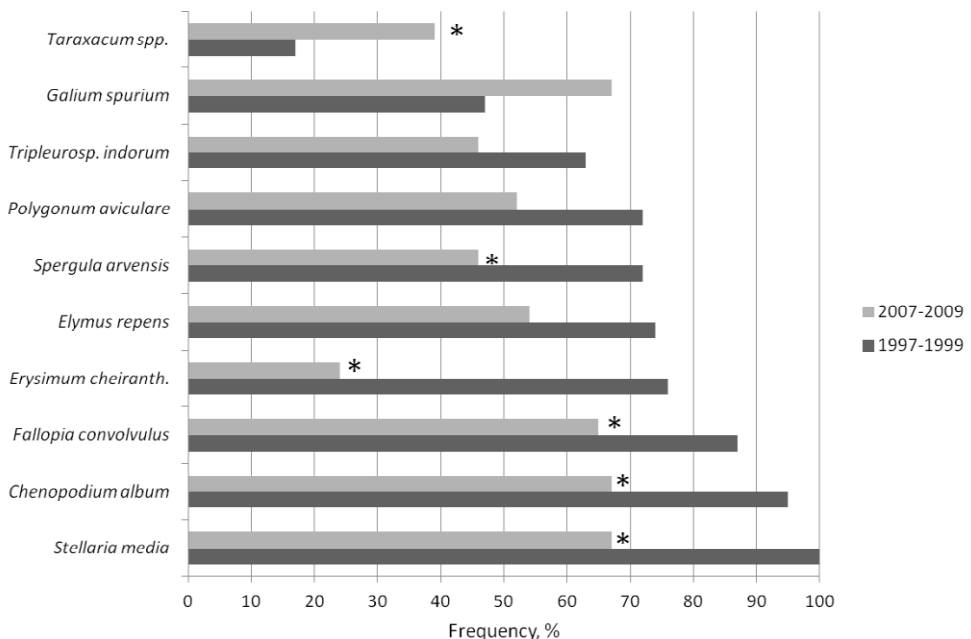


Fig. 1 Weed species with the most marked change in frequency of occurrence between the organic cropping in the 1990s and conventional cropping in the 2000s. * Fisher's Exact Test $P < 0.05$.

Abb. 1 Stetigkeit von Unkrautarten auf Feldern mit ökologischer Bewirtschaftung in 1990er-Jahren im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung in den 2000er-Jahren. * Fisher's Exact Test $P < 0.05$.

A marked decline in the total density of weeds was obvious from organic years to conventional years. The average density of weeds in organically cropped fields was 428 plants m⁻² in the 1990s. Ten years later, when the same fields were conventionally cropped, the average density of weeds was 180 plants m⁻². This was primarily due to the decline of weed species susceptible to applied herbicides and better crop competition. *Chenopodium album*, *Stellaria media* and *Spergula arvensis* were typical weed species in this respect (Fig. 2). In comparison, the total weed density in continuous conventional cropping was on average 152 plants m⁻² in 2007-2009.

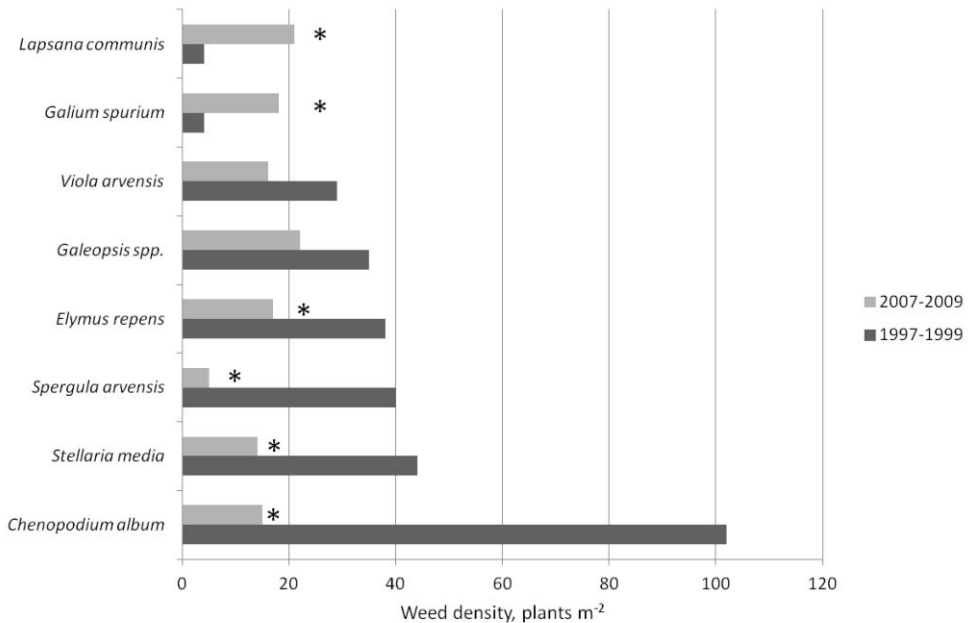


Fig. 2 Weed density (plants m⁻²) in organic cropping in the 1990s compared to conventional cropping in the 2000s. * Wilcoxon test P < 0.05.

Abb. 2 Bestandesdichte von Unkräutern (Pflanzen m⁻²) auf Feldern mit ökologischer Bewirtschaftung in 1990er-Jahren im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung in den 2000er-Jahren. * Wilcoxon test P < 0.05.

The average total air dry biomass of weeds, which was 765 kg ha⁻¹ in organic cropping in the 1990s, had now dropped down to 193 kg ha⁻¹ in conventional cropping. This was slightly higher than the average biomass, 181 kg ha⁻¹, recorded in the fields under continuous conventional cropping. This difference was mainly due to a higher infestation of perennial weeds *Cirsium arvense*, *Elymus repens* and *Sonchus arvensis* as well as some broad-leaved species like *C. album* and *Galeopsis spp.* (Fig 3).

Lower weed biomass in conventionally cropped stands was obviously associated with better crop competition, too. Namely, the average air-dry biomass of cereal crop in organic cropping had been only 3843 (SD 1972) kg ha⁻¹ but was now 6833 (SD 2067) kg ha⁻¹ in conventional cropping and 6420 (SD 2370) in continuous conventional cropping, respectively.

Discussion

The area of organic farming in Finland has levelled out at around 9% of arable land. Some farms have, however, returned back to conventional cropping due to various reasons, including the increased weed infestation. According to our findings, the relatively good efficacy of available herbicides and better crop competition in conventional cropping were sufficient to control weeds

in these “come-back” fields. Both sulfonylureas and phenoxy acid herbicides were used for chemical control (SALONEN *et al.*, 2013).

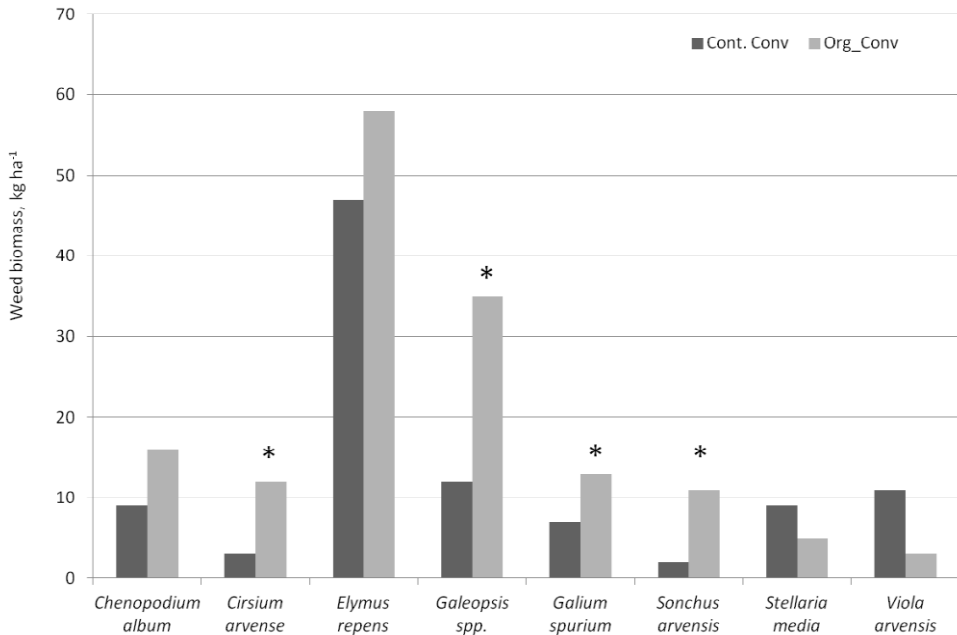


Fig. 3 Weed biomass in conventional cropping after organic cropping (Org_Conv) and in continuous conventional cropping (Cont_Conv). Data from the 2007-2009 survey. * Wilcoxon test $P < 0.05$.

Abb. 3 Trockenmasse von Unkrautarten bei konventioneller Bewirtschaftung nach ökologischem Landbau (Org_Conv) und bei kontinuierlich konventioneller Bewirtschaftung (Cont_Conv). * Wilcoxon test $P < 0.05$.

In conclusion, weed infestation in conventional cropping after organic cropping was slightly higher than in the fields with continuous conventional cropping. However, organic cropping did not pose any insurmountable subsequent problems in weed management in conventional cropping of spring cereals. Obviously, the seed bank of weeds was increased during the years under organic farming. Therefore, in the crops with less effective weed control options some problems may arise.

References

- RIESINGER, P. and T. HYVÖNEN, 2006: Impact of management on weed species composition in organically cropped spring cereals. *Biol. Agric. and Hortic.* **24**, 257-274.
- SALONEN, J., T. HYVÖNEN and H. JALLI, 2001: Weeds in spring cereal fields in Finland – a third survey. *Agric. and Food Sci.* **10** (4), 347-364.
- SALONEN, J., T. HYVÖNEN and H. JALLI, 2011: Composition of weed flora in spring cereals in Finland – a fourth survey. *Agric. and Food Sci.* **20** (3), 245-261.
- SALONEN, J., T. HYVÖNEN, J. KASEVA and H. JALLI, 2013: Impact of changed cropping practices on weed occurrence in spring cereals in Finland – a comparison of surveys in 1997-1999 and 2007-2009. *Weed Res.* **53** (2), 110-120.

Wirkung von reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung im Ökologischen Landbau auf den Beikrautbesatz

Influence of Reduced Tillage and Green Manures on Weeds in Organic Farming

Meike Grosse^{1*}, Thorsten Haase² und Jürgen Heß¹

¹Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen

²Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Beratungsteam Ökologischer Landbau, Kölnische Str. 48-50, 34117 Kassel

*Korrespondierender Autor, meike.grosse@uni-kassel.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.063

Zusammenfassung

Eine reduzierte Bodenbearbeitung und Gründüngung haben das Potenzial Anbausysteme im Ökologischen Landbau weiter zu verbessern, wenn sie an die spezifischen Bedingungen des Ökologischen Landbaus angepasst werden. Ein Ziel des europäischen Forschungsprojektes „TILMAN ORG“ (www.tilman-org.net) ist es, eine wirksamere Beikrautregulierung bei gleichzeitig erhöhter Biodiversität durch den verbesserten Einsatz von Gründüngung innerhalb verschiedener Szenarien reduzierter Bodenbearbeitung zu entwickeln.

Die Ergebnisse eines wiederholten einjährigen Feldversuches auf der Domäne Frankenhausen, dem Versuchsgut der Universität Kassel, hinsichtlich der Wirkung unterschiedlicher legumer und nicht-legumer Gründüngungsarten in vier verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen auf den Beikrautbesatz stehen dabei im Vordergrund dieses Beitrages. Auf die Zwischenfrüchte *Sinapis alba*, *Trifolium resupinatum* und *Vicia sativa* sowie einer Schwarzbrache als Kontrolle folgte die Hauptfrucht Hafer in vier verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen: Pflug, Grubber (2012) bzw. Scheibenegge (2013), sowie Mulch- und Direktsaat.

Der Deckungsgrad der Beikräuter war 2012 in den Pflugvarianten grundsätzlich niedrig verglichen mit den anderen Bodenbearbeitungsvarianten. 2012 mussten in den Mulch- und Direktsaatvarianten die Haferparzellen nach den Zwischenfrüchten *S. alba* und *T. resupinatum* sowie nach der Schwarzbrache wegen zu hohen Beikrautdruckes aufgegeben werden. Im Vergleich dazu konnte *V. sativa* 2012 die Beikräuter wesentlich besser unterdrücken und führte zu mit Pflug- und Grubbervarianten vergleichbaren Erträgen der Hauptfrucht Hafer auf einem Niveau von 55,3 dt ha⁻¹ bis 59,1 dt ha⁻¹. 2013 mussten alle Mulch- und Direktsaatvarianten aufgrund zu hohen Beikrautdruckes aufgegeben werden. Der Beikrautdruck auf den Scheibenegge - Varianten unterschied sich nicht signifikant von dem Beikrautdruck auf den Pflug - Varianten, es führte aber nur die Zwischenfrucht *V. sativa* zu ähnlich hohen Erträgen in der Hauptfrucht Hafer wie in den Pflug - Varianten (*V. sativa* x Scheibenegge 56,2 dt ha⁻¹, *V. sativa* x Pflug 53,9 dt ha⁻¹). Auf den Pflug - Varianten herrschte insgesamt ein geringer Beikrautdruck. Beim Ertrag gab es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Gründüngung.

Stichwörter: *Avena sativa*, Direktsaat, Grubber, Mulchsaat, Scheibenegge, *Vicia sativa*

Abstract

Reduced tillage and green manures may be capable to further improve organic crop production systems, if they are adapted to the specific needs of organic farming. One goal of the European research project TILMAN ORG (www.tilman-org.net) is to develop a more efficient weed management with at the same time increased biodiversity through improved use of green manures in different systems of reduced tillage.

The results of a repeated one year trial on "Domaene Frankenhausen", the research farm of University of Kassel, regarding the effect of both leguminous and non-leguminous green manures on weeds in four different tillage systems is the main topic of this paper. After the green manure species *Sinapis alba*, *Trifolium resupinatum* and *Vicia sativa* and a bare fallow as a control the main crop oat was sown in four different tillage systems: plough, chisel (2012) respectively disc harrow (2013), mulching + drilling and direct drilling.

2012 weed cover was generally low in the plough system compared to the other tillage systems. In the mulching + drilling- and direct drilling- systems the plots after the green manure species *S. alba* and *T. resupinatum* and the bare fallow had to be given up because weed pressure was too high. Compared to that *V. sativa* was able to suppress weeds considerably better and resulted in similar yields to the plough and chisel treatments 2012 on a level from 55.3 dt ha⁻¹ to 59.1 dt ha⁻¹. 2013 all mulching + drilling- and direct drilling- plots had to be given up because of too high weed pressure. The weed pressure in the disc harrow - system differed not significantly from the plough system, but only green manure species *Vicia sativa* resulted in similar

oat yields compared to the plough treatments (*V. sativa* x disc harrow 56.2 dt ha⁻¹, *V. sativa* x plough 53.9 dt ha⁻¹). In the plough – treatments there was an overall low weed pressure. Concerning yield there were no significant differences regarding green manure treatment.

Keywords: *Avena sativa*, chisel, direct drilling, disc harrow, mulching + drilling, *Vicia sativa*

Einleitung

Methoden der reduzierten Bodenbearbeitung wie nicht-wendende Verfahren oder eine nur oberflächliche Bearbeitung des Bodens gelten als umweltfreundliche Alternativen zum herkömmlichen Pflügen. Im Ökologischen Landbau werden diese Verfahren bisher wesentlich seltener eingesetzt als in der konventionellen Landwirtschaft. Ein Grund dafür sind Ertragseinbußen, die bei der Anwendung von reduzierter Bodenbearbeitung durch eine in der Regel verringerte N-Mineralisation und/oder einen häufig höheren Beikrautdruck auftreten können (MÄDER und BERNER, 2012). Ohne den Pflug als Hilfsmittel können zur vorbeugenden Beikrautkontrolle im Ökologischen Landbau hauptsächlich eine fachgemäße Fruchtfolgegestaltung sowie der Anbau von Gründüngung eingesetzt werden. Letztere kann aufgrund ihrer Konkurrenzkraft Beikraut unterdrückende Wirkung zeigen (SHRESTA *et al.*, 2001; BÄRBERI, 2002; PEIGNÉ *et al.*, 2007).

Ein Ziel dieses Forschungsprojektes (Laufzeit: 9/2011 - 8/2014; www.tilman-org.net) im Kontext des europäischen ERA-Net Core Organic II ist es, ein verbessertes Beikrautmanagement durch den effizienten Anbau von Gründüngung in Systemen mit reduzierter Bodenbearbeitung zu entwickeln.

Material und Methoden

Ein wiederholter einjähriger Versuch (2011/12 sowie 2012/13) wurde auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb der Universität Kassel, der Hessische Staatsdomäne Frankenhäusen (51.5 N; 9.4 E; 689 mm; 8.5°C), angelegt. Beim Boden handelt es sich um eine Parabraunerde aus Löss (stark toniger Schluff). Der Versuch wurde als zweifaktorielle Spaltanlage mit den Faktoren Gründüngung und Bodenbearbeitung konzipiert. 2011/12 erfolgte die Aussaat der Zwischenfrüchte auf Großparzellen. Die Bodenbearbeitung vor der Hauptfrucht Hafer wurde streifenförmig mit acht Wiederholungen über die Gründüngungspartellen angelegt. 2012/13 wurden die Gründüngungsvarianten in komplett randomisierten Kleinparzellen ausgesät. Die vier Wiederholungen wurden bei der Differenzierung nach Bodenbearbeitung beibehalten.

In beiden Jahren war die Vorfrucht Winterweizen. Vor der Aussaat der Gründüngung wurde die gesamte Fläche bis zu einer Tiefe von 10 cm gegrubbert. Nach der Bearbeitung mit der Kreiselegge erfolgte die Aussaat folgender Gründüngungsarten am 26. August 2011 bzw. am 22. August 2012: *Sinapis alba*, *Trifolium resupinatum* und *Vicia sativa*. Als Kontrolle diente eine Schwarzbrache. Für *S. alba* betrug die Saatstärke 270 keimfähige Körner m⁻², für *T. resupinatum* betrug sie 1400 keimfähige Körner m⁻² (beides entspricht 20 kg ha⁻¹) und für *V. sativa* betrug sie 170 keimfähige Körner m⁻² (entspricht 105 kg ha⁻¹).

Die Hauptfrucht Hafer (*Avena sativa* L., cv. Scorpion) wurde am 10. April 2012 bzw. am 22. April 2013 nach differenzierter Bodenbearbeitung gesät. Die Saatstärke betrug 400 keimfähige Körner m⁻² im Jahr 2012 bzw. 450 keimfähige Körner m⁻² im Jahr 2013. Die Bodenbearbeitungsvarianten waren in beiden Jahren Pflug (Tiefe ca. 23 cm) und Kreiselegge, Mulchsaat und Direktsaat („no-till“). Im Jahr 2012 gab es eine weitere Variante, die mit Grubber (Tiefe ca. 11 cm) und Kreiselegge bearbeitet wurde. Diese Variante wurde 2013 durch eine Bearbeitung mit der Scheibenege (Tiefe ca. 7 cm) ersetzt, da 2012 in den Grubber x *S. alba* – Parzellen das kaum zerkleinerte organische Material die Drillmaschine verstopft und so die Aussaat behindert hatte.

Im Jahr 2013 beeinträchtigte das massive Auftreten von Ausfallgetreide der Vorfrucht Winterweizen den Versuchsablauf der Mulch- und Direktsaatvarianten. Um deren Fortbestehen zu gewährleisten wurde jeweils eine Parzellenhälfte abgeflammt. In diesem Beitrag werden bezüglich der Mulch- und Direktsaat nur die Ergebnisse dieser abgeflamten Parzellenhälften dargestellt.

Bezüglich der Beikräuter wurde der Deckungsgrad nach Art in einem späten Stadium der Gründung (29. März 2012 / 08. April 2013) und einem späten Stadium der Hauptfrucht Hafer auf einem Quadrat von einem m² pro Parzelle bestimmt (11. Juli 2012 / 16. Juli 2013). Die Dichte nach Art wurde in einem frühen Stadium der Hauptfrucht Hafer ermittelt (23. Mai 2012 / 21. Mai 2013). Die Boniturfläche betrug 0,1 m² und wurde viermal randomisiert über die Parzelle verteilt. Die oberirdische Gesamtbioasse wurde in einem späten Stadium des Hafers (zeitgleich mit Deckungsgrad nach Art und auf derselben Fläche) quantifiziert. Die Gründung wurde am 17. November 2011 bzw. am 14. November 2012 beprobt. Dafür wurde ein Quadrat mit 1,5 m Seitenlänge (=2,25 m²) pro Parzelle von Hand geerntet. Der Hafer wurde am 09.08.2012 bzw. am 12.08.2013 geerntet. Dafür wurden 2012 zweimal 0,5 m² Fläche pro Parzelle von Hand geschnitten, 2013 viermal 0,5 m² Fläche pro Parzelle (Abb. 1).

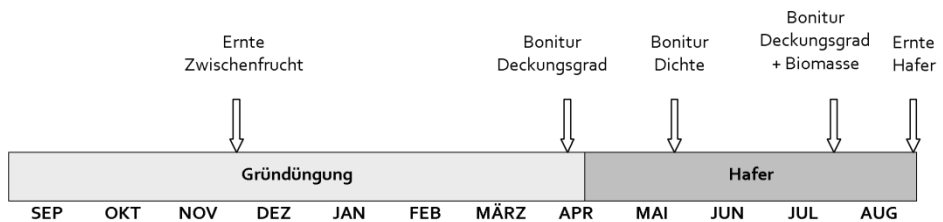


Abb.1 Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Bonituren und Probenahmen.

Fig. 1 Time scale of assessments and sample taking.

Um die Verteilung von Gesamtdeckungsgrad, -dichte und -biomasse des Beikrautes sowie des Ertrages der Hauptfrucht Hafer zu beschreiben, wurden der Mittelwert und Standardfehler berechnet. Mit einer ANOVA und dem Tukey-B - Test wurde jeder Parameter auf Signifikanz überprüft (Alpha = 0,05). Diese Analysen wurden mit SPSS-21 durchgeführt.

Ergebnisse

Der Aufwuchs der Zwischenfrüchte betrug im Versuchsjahr 2011/12 im Mittel über alle Wiederholungen für *S. alba* 20,9 dt Trockenmasse (TM) ha⁻¹ (SE 2,46) und für *V. sativa* 29,9 dt TM ha⁻¹ (SE 1,92). *T. resupinatum* war so schlecht aufgelaufen, dass er nicht beprobt werden konnte. Im Versuchsjahr 2011/12 gab es keine signifikanten Unterschiede für den Beikraut-Gesamtdeckungsgrad in der Gründung. In der Hauptfrucht Hafer gab es signifikante Unterschiede für den Gesamtdeckungsgrad für den Faktor Bodenbearbeitung. Das Pflugsystem hatte den signifikant niedrigsten Beikraut-Gesamtdeckungsgrad und die Direktsaat den höchsten Beikraut-Gesamtdeckungsgrad.

Bezüglich der Gesamtdichte hatten die Mulch- und die Direktsaat 2011/12 signifikant weniger, aber wesentlich größere Beikräuter als die Grubber- und Pflugvarianten. Das Pflugsystem hatte die höchste Dichte. Jedoch waren die Beikräuter in der Mulch- und Direktsaat so groß, dass in diesen Bodenbearbeitungsvarianten alle Parzellen außer denen mit der Zwischenfrucht *V. sativa* aufgegeben werden mussten. *V. sativa* war die einzige Gründung, die die Beikräuter bis zu einem gewissen Grad unterdrücken konnte.

2011/12 wurde die signifikant höchste Beikraut-Gesamtbioasse in der Direktsaat gemessen (Probenahme nur in der Gründungsvariante *V. sativa* möglich). Das Pflügen führte zur niedrigsten Beikraut-Gesamtbioasse über alle Gründungsarten hinweg, während in den Grubber-Varianten ebenfalls niedrige Werte in den *S. alba*- und *V. sativa*- Parzellen gemessen wurden.

V. sativa als Gründung führte 2011/12 zu den höchsten Hafererträgen. Die Erträge waren jedoch in allen Parzellen akzeptabel. Grubber x *V. sativa* resultierte in den signifikant höchsten

Erträgen (Mittelwert 59,1 dt ha⁻¹, 86 % TS; SE 2,85), Pflug x *S. alba* und Grubber x *S. alba* in den niedrigsten (Mittelwert 40,5 dt ha⁻¹; SE 1,43 bzw. 41,0 dt ha⁻¹, 86 % TS; SE 3,66). In der Mulchsaat x *V. sativa* wurde ein Ertrag von 56,4 dt ha⁻¹ (86 % TS; SE 2,66) erzielt und in der Direktsaat x *V. sativa* 55,3 dt ha⁻¹ (86 % TS; SE 2,65).

Im Versuchsjahr 2012/13 betrug im Mittel über alle Wiederholungen der Aufwuchs der Zwischenfrüchte für *S. alba* 17,1 dt TM ha⁻¹ (SE 0,88), für *V. sativa* 15,4 dt TM ha⁻¹ (SE 1,21) und für *T. resupinatum* 6 dt TM ha⁻¹ (SE 0,75). Es unterschieden sich alle vier Gründungsvarianten hinsichtlich des Beikraut-Gesamtdeckungsgrads bei der ersten Bonitur am 08.04.2013 signifikant voneinander. In den *V. sativa* – Parzellen war der Gesamtdeckungsgrad signifikant am niedrigsten, gefolgt von den *S. alba*, *T. resupinatum* und schließlich den Schwarzbrache – Parzellen.

In der Hauptfrucht Hafer gab es signifikante Unterschiede für den Gesamtdeckungsgrad für den Faktor Bodenbearbeitung. Das Pflugsystem hatte den signifikant niedrigsten Beikraut-Gesamtdeckungsgrad und die Direktsaat den höchsten, die Scheibenegge – Parzellen hatten einen mittleren Gesamtdeckungsgrad.

Wie 2011/12 hatten auch 2012/13 die Direktsaat signifikant weniger, aber wesentlich größere Beikräuter als die Pflugvarianten. Die signifikant höchste Dichte hatten die Scheibenegge - Parzellen.

2012/13 war die Beikraut-Gesamtbiomasse sowohl in der Mulch- als auch in der Direktsaat nach allen Zwischenfrüchten so hoch, dass in keiner dieser Parzellen die Hauptfrucht Hafer geerntet werden konnte. Das Pflügen führte zu niedriger Beikraut-Gesamtbiomasse über alle Gründungsarten hinweg (signifikant am niedrigsten Pflug x *T. resupinatum*), während in den Scheibenegge - Varianten niedrigere Werte in den *V. sativa*-, Schwarzbrache- und *S. alba*- Parzellen als in den *T. resupinatum*- Parzellen zu finden waren.

In den Hafererträgen 2012/13 gab es eine signifikante Wechselwirkung für Gründung x Bodenbearbeitung. Für *V. sativa* x Scheibenegge gab es im Gegensatz zu den anderen Gründungsvarianten x Scheibenegge keine Ertragsminderung sondern ein vergleichbares (sogar leicht höheres) Ertragsniveau wie in den verschiedenen Pflugvarianten. Der Ertrag für *V. sativa* x Scheibenegge lag bei 56,2 dt ha⁻¹ (86 % TS; SE 3,09). Ähnlich hoch waren die Erträge in den *T. resupinatum* x Pflug – Parzellen (56,1 dt ha⁻¹, 86 % TS; SE 4,01) bzw. *V. sativa* x Pflug – Parzellen (53,9 dt ha⁻¹, 86 % TS; SE 2,56). Der Haferertrag in den *S. alba* x Pflug – Parzellen betrug 47,7 dt ha⁻¹ (86 % TS; SE 2,11) und in den Schwarzbrache x Pflug - Parzellen 48,9 dt ha⁻¹ (86 % TS; SE 3,86). *T. resupinatum* x Scheibenegge erzielte einen Haferertrag von 35,7 dt ha⁻¹ (SE 4,42), *S. alba* x Scheibenegge einen Ertrag von 33,2 dt ha⁻¹ (SE 4,35) und Schwarzbrache x Scheibenegge einen Ertrag von 29,0 dt ha⁻¹ (SE 1,05) jeweils bei 86 % TS).

Diskussion

Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres 2011/12 zeigen, dass im Ökologischen Landbau mit Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung sowie Direktsaat in Kombination mit einer passenden Zwischenfrucht, in diesem Fall *V. sativa*, vergleichbare Erträge wie nach einer Bearbeitung mit dem Pflug realisiert werden können.

Insofern werden die positiven Ergebnisse von WITTWER *et al.* (2013) bestätigt, die mit *V. sativa* als Zwischenfrucht in einem System mit reduzierter Bodenbearbeitung vergleichbare Erträge wie in einem Pflug-Verfahren erzielt hatten.

2012/13 vermochte es allerdings im Gegensatz zu 2011/12 keine der Gründungsvarianten, die Beikräuter so weit zu unterdrücken, dass eine Mulch- oder Direktsaat zu befriedigenden Ertragsresultaten der Hauptfrucht Hafer geführt hätte. Dies kann daran gelegen haben, dass die Zwischenfrüchte, vor allem *V. sativa*, wesentlich weniger Grünmasse produziert hatten als 2011/12. Auch das Abflammen hatte keinen ausreichend Beikraut unterdrückenden Effekt gezeigt, so dass die Mulch- und Direktsaat 2012/13 schließlich aufgegeben werden mussten.

Die Kombination von *V. sativa* mit der Scheibenegge brachte 2012/13 gute Erträge in der Hauptfrucht Hafer. So scheint auch nach den Ergebnissen des zweiten Versuchsjahres *V. sativa* besonders geeignet zu sein, um im Ökologischen Landbau mit reduzierter Bodenbearbeitung kombiniert zu werden, da sie als Zwischenfrucht vor Grubber und Scheibenegge zu den höchsten Erträgen in der Hauptfrucht Hafer führte.

Für möglichst wiederholbare Erfolge von *V. sativa* in Kombination mit Mulch- oder Direktsaat wäre eine schnelle Jugendentwicklung von *V. sativa* wichtig, damit unabhängig von eventuell ungünstigen klimatischen Bedingungen ein schneller Bestandsschluss erreicht werden kann. In dieser Hinsicht muss eine Sorte gewählt werden, die rasch aufläuft und viel Biomasse bildet. Ferner können weitere Überlegungen zur Optimierung von Saatzeitpunkt (möglichst früh) und Drilltechnik (hinsichtlich Bodenschluss und Wasserversorgung) angestellt werden.

Der Einsatz von geeigneten Zwischenfrüchten kann reduzierten Bodenbearbeitungssystemen im Ökologischen Landbau größere Attraktivität verleihen. Die Vorteile für die Bodengesundheit, die eine reduzierte Bodenbearbeitung mit sich bringen kann (EMMERLING und HAMPL, 2002), lassen einen Pflugverzicht so oft wie möglich auch bei ökologisch arbeitenden Landwirten sinnvoll erscheinen.

Danksagung

Das Projekt 'Reduced tillage and green manures for sustainable organic cropping systems – TILMAN ORG' wird im Rahmen von FP7 ERA-Net (CORE Organic II) gefördert.

Literatur

- BÄRBERI, P., 2002: Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research* **42**, 177-193.
- EMMERLING, C. und U. HAMPL, 2002: Wie sich reduzierte Bodenbearbeitung auswirkt. *Ökologie und Landbau* **124** (4), 19-23.
- MÄDER, P. und A. BERNER, 2012: Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renew. Agr. Food Syst.* **27**(1), 7-11.
- PEIGNÉ J., B. C. BALL, J. ROGER-ESTRADE und C. DAVID, 2007: Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use Manage.* **23** (2), 129–144.
- SHRESTA, A., S. Z. KNEZEVIC, R. C. ROY, B. R. BALL-COELHO und C. J. SWANTON, 2001: Effect of tillage, cover crop and crop rotation on the composition of weed flora in sandy soil. *Weed Research* **42**, 76-87.
- WITTWER, R., B. DORN, W. JOSSI, U. ZIHLMANN und M. VAN DER HEIDEN, 2013: Zwischenfrüchte als wichtiges Puzzleteil für den pfluglosen ökologischen Landbau. In: *Ideal und Wirklichkeit – Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5. - 8. März 2013*. Hrsg.: NEUHOF, D., C. STUMM, S. ZIEGLER, G. RAHMANN, U. HAMM und U. KÖPKE. Berlin, *Dr. Köster*, 46-49.

Thermal, mechanical and chemical control of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) in different habitats

Thermische, mechanische und chemische Bekämpfung der Beifuß-Ambrosie (Ambrosia artemisiifolia) in verschiedenen Umwelten

Ulrike Sölter* and Arnd Verschwele

Julius Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

*Corresponding author, ulrike.soelter@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.064

Abstract

A small plot field experiment with transplanted ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) into gravel and grassland and a large scale field experiment on a roadside banquette in Brandenburg with a natural ragweed infestation were carried out. Thermal control treatments were hot air (gravel and grassland) and hot water (roadside) and flaming, the mechanical treatment was mowing and the chemical treatment was the application of the herbicide combination MCPA and Dicamba. The gravel and grassland experiment was conducted at two growth stages of ragweed (BBCH 16-18 and 22-29), at the roadside ragweed was at BBCH 50-65. Dry matter yield of ragweed was assessed 9 weeks after the treatments were conducted in gravel and grassland and 4 weeks after the treatment at the roadside. In gravel and grassland the best eradication at both growth stages by thermal control was achieved by hot air in comparison to the untreated plots (significant at $P < 0.05$). And at the roadside significant lower dry matter was determined by hot water and flaming in comparison to the untreated plots (significant at $P < 0.05$).

The results of these experiments demonstrated the efficiency of thermal control methods based on hot air and hot water as an alternative to herbicide control and mowing in habitats where herbicide application is not allowed or mowing gives no sufficient eradication results, like on roadside banquettes.

Keywords: Banquette, grassland, gravel, IPM, non-cropping area

Zusammenfassung

Feldversuche mit thermischen Bekämpfungsmaßnahmen wurden als Kleinparzellenanlage auf Grünland und in Schotter mit eingepflanzten Beifuß-Ambrosien (*Ambrosia artemisiifolia*) und im Bankett einer Landstraße in Brandenburg mit natürlichem Beifuß-Ambrosien Vorkommen durchgeführt. Die thermischen Bekämpfungsmaßnahmen waren Abflammen sowie Heißluft in Schotter und Grünland und Heißwasser am Straßenrand. Die mechanische Variante war Mähen und die chemische eine Herbizidkombination: MCPA und Dicamba. Der Schotter- und Grünlandversuch wurde zu zwei unterschiedlichen Wuchsstadien der Beifuß-Ambrosie durchgeführt: BBCH 16-18 und 22-29. Zum Zeitpunkt der Bekämpfung am Straßenrand war die Beifuß-Ambrosie im BBCH Stadium 50-65. Der Trockenmasseertrag wurde 9 Wochen nach den Bekämpfungsmaßnahmen im Schotter und auf Grünland und 4 Wochen nach den Maßnahmen am Straßenrand erfasst. Im Schotter und auf Grünland hatte die thermische Bekämpfung mit heißer Luft die signifikant ($P < 0,05$) höchste Trockenmassereduktion im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Am Straßenrand wurden in beiden thermischen Behandlungen (Heißwasser und Abflammen) signifikant ($P < 0,05$) niedrigere Trockenmasseerträge im Vergleich zu der unbehandelten Kontrolle bestimmt.

Die Ergebnisse dieser Versuche zeigen die Effizienz der thermischen Behandlung, basierend auf heißer Luft und Heißwasser, in der reduzierten Trockenmasse der Beifuß-Ambrosie. Die thermische Behandlung ist eine Alternative zu Herbizidanwendungen und mechanischen Bekämpfungsmaßnahmen in Umwelten, in denen die Herbizidausbringung nicht erlaubt ist oder Mähen keine befriedigenden Bekämpfungsmaßnahmen zeigt, wie z. B. am Straßenrand.

Stichwörter: Bankette, Grünland, IPM, Nicht-Kulturland, Schotter

Introduction

Thermal weed control is an alternative treatment where neither chemical nor mechanical control is allowed or possible. Research activities are needed to develop innovative control systems especially for non-cropping areas, like roadsides, because herbicide uses are very restricted within the EU. The principle of thermal control is that temperatures above 60 °C in the plant cells lead to

nucleic acid denaturalization. This impact causes an irreversible damage of the plant tissue and leads to necrosis. Machinery for thermal weed control is working with flames, infrared or heated air and heated water (steam or boiling water), which is applied on the plants. Since ragweed is also spreading on fields in organic farms there is a strong demand to provide alternatives for organic farmers. Most of the machineries for thermal weed control are hand units that are used for pavements and are not suited for agricultural uses or the use for very long distances like roadsides. MERFIELD *et al.* (2009) made an effort to use a steam weeder for agricultural purposes in New Zealand. Also LATSCH *et al.* (2013) had to rebuild a steam hand unit for the use in agricultural fields. The aim of this work was to identify thermal control strategies as an alternative to mechanical and chemical control strategies.

Material and Methods

Two experiments on thermal control of ragweed were conducted in two consecutive years (2012 and 2013). Small plot (2*3 m) field experiments with transplanted ragweed in gravel and grassland (10 plants per treatment, each plant was a replication) and large scale field experiments (0,80-1,50 * 50 m, 4 replications) on a roadside banquette in Brandenburg with a natural ragweed infestation were carried out. In the gravel and grassland plots one part of the ragweed plants was transplanted with a two week gap between the other parts in order to get plants in two different growth stages at the day of treatment. The experimental layout was a partly randomised block design.

The following treatments were conducted in comparison to untreated plots:

- a) Thermal: Flaming 600 °C (Green-Flame 850 E, Green-Flame, Vordingborg, Denmark)
- b) Thermal (in gravel and grassland only): Hot Air 370 °C (Combi Compact, Adler Arbeitsmaschinen, Nordwalde, Germany)
- c) Thermal (at the roadside banquette only): Hot Water 99 °C (Wave High Series hand unit, Wave Europe, Wekerom, Netherlands)
- d) Mechanical: mowing (with a brushcutter in gravel and grassland and with a selfpropellered mower by road maintenance staff at the roadside banquette at a height of approx. 6-10 cm)
- e) Chemical: Herbicide application with a hand unit (Banvel M: Dicamba and MCPA, 6 l * ha⁻¹)

The transplanted ragweed plants in grassland and gravel were treated at BBCH 16-18 and 22-29 at the end of July in both years (Tab. 1). The roadside banquette trial was conducted at BBCH 50-65 also at the end of July in 2012 and 2013.

Tab. 1 Experimental layout.

Tab. 1 *Versuchsdesign.*

habitat	grassland and gravel	roadside banquette
Plot desgin	2*3 m, 10 plants per treatment (each plant is a replicate = 10 replicates)	0,80 * 50 m 4 replicates
BBCH growth stage at treatment	16-18 and 22-29	50-65
treatment	Flaming, Mowing, Herbicide Hot Air	Flaming, Mowing, Herbicide Hot Water
harvest of ragweed DM	9 weeks after treatment	4 weeks after treatment

Dry matter of the remaining ragweed plants was determined 9 weeks after the treatment in gravel and grassland and 4 weeks after the treatment on two 0,25 m² areas at the roadside banquette.

At the roadside banquette ragweed infestation was very low in 2013. Therefore the results of this year were really unrepresentative, resulting in almost no ragweed dry matter before and after the treatment. A reason therefore was not found. These data were excluded from statistical analysis.

The statistical analysis was carried out with Statgraphics Plus 5.1 (StatPoint Technologies, Inc.) using the Tukey-Test for determining the significant differences at $P < 0.05$.

Results

The results of the gravel and grassland experiment showed that ragweed dry matter in grassland was significantly reduced by thermal control at BBCH 16-18 and 22-29 (Fig. 1). In gravel thermal control by hot air at BBCH 16-18 and 22-29 led to significant lower ragweed dry matter compared to the untreated plots. Mowing (mechanical control) led to significant lower ($P < 0.05$) dry matter at both growth stages in both habitats. All treatments at BBCH 16-18 were more effective in reducing ragweed dry matter compared to ragweed dry matter of plants treated at BBCH 22-29.

The herbicide treatment was most successful in ragweed suppression: This treatment resulted in a complete eradication of the Ambrosia plants in grassland and gravel, both in the plots with treatment at BBCH 16-18 and 22-29, too.

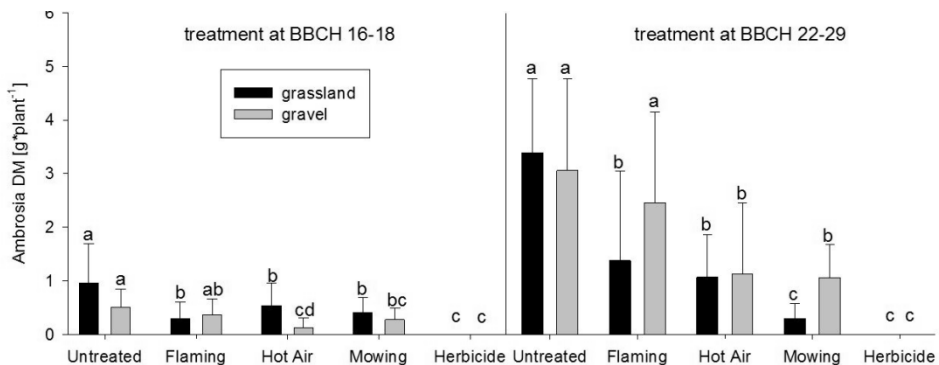


Fig. 1 Ambrosia dry matter [DM g*plant⁻¹] (data from 2012 and 2013) in grassland and gravel 9 weeks after treatment, columns of the same colour with different letters differ significantly at $P < 0.05$; bars indicate standard deviation.

Abb. 1 Beifuß-Ambrosientrockenmasse [DM g *plant⁻¹] (Daten aus den Jahren 2012 und 2013) in Grünland und Schotter 9 Wochen nach der Behandlung, Säulen mit der gleichen Farbe und unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $P < 0,05$; Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

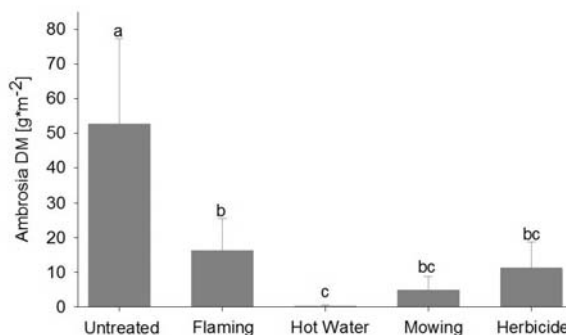


Fig. 2 Ambrosia DM [g *m⁻²] (data from 2012) at roadside banquettes 4 weeks after treatment, columns with different letters differ significantly at $P < 0.05$; bars indicate standard deviation.

Abb. 2 Beifuß- Ambrosie Trockenmasse [DM g *m⁻²] (Daten aus 2012) am Straßenrand 4 Wochen nach der Behandlung, Säulen mit der gleichen Farbe und unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $P < 0,05$; Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

The results of the roadside banquette trial showed that the thermal control treatments flaming and hot water led to significant lower ragweed dry matter than the untreated plots (Fig. 2). The hot water treatment resulted in the lowest dry matter which differed significantly from flaming. The following order of the treatments point out the best eradication: Hot Water > Mowing > Herbicide > Flaming > Untreated.

It was observed that the surviving vegetation in the plots consists of grasses mainly.

Discussion

The results of these experiments demonstrated the efficiency of thermal control methods based on hot air and hot water. Recent investigations in Germany and other European countries also identified hot water systems as a promising tool (RASK *et al.*, 2007; DITTRICH *et al.*, 2012). They concluded that at least 2 applications are necessary for successful weed control. In general the hot water treatment is applied up to 4 times during the vegetation period but in our studies it was carried out one time only with very promising results. However, there are still gaps of knowledge in terms of the dose-response relation for Ambrosia (e.g. propane consumption in kg*ha⁻¹) and also the correct timing of the application is often difficult (ASCARD, 1995). Investigation of the earlier Euphresco project on Ambrosia clearly pointed out the low competitiveness of Ambrosia (HOLST, 2010). Therefore any direct control method should be as selective as possible to inhibit growth of Ambrosia by the competition of the surrounding vegetation. Despite its high regrowth capacity, there are no indications that Ambrosia is less susceptible against heat treatments like most of other weed species. Additional information is still required to develop a more specific guidance which enables the practical implementation. Focusing on eradication of Ambrosia we should know more about heat effects on seed viability in the soil seed bank in non-cropping areas. A critical point of thermal control methods is the energy input and the corresponding costs. Although a lot of improvement was achieved to optimise the cost-benefit ratio, this will require an economic evaluation specified for different uses and scenarios.

Acknowledgements

This study was part of a project funded by the European Commission-DG Environment on "Complex research on methods to halt the Ambrosia invasion in Europe – HALT AMBROSIA" (07.0322/2010/586350/SUB/B2). We thank the technical personnel Martina Kracht and Werner Löhr for assisting in many areas of this project.

References

- ASCARD, J., 1995: Effects of flame weeding on weed species at different developmental stages. *Weed Research* **35**, 397–411.
- DITTRICH, R., DEGENKOLB, L., SCHUCK, M. and O. DITTRICH, 2012: Weeds on hard surfaces in Saxony and efficacy of thermic weed control. *Journal of Cultivated Plants* **64**, 196-204.
- HOLST, N. (Editor), 2010: Strategies for Ambrosia. Scientific report of the Euphresco project AMBROSIA, 70pp, www.agrsci.dk/ambrosia/outputs/report.html.
- RASK, A. M. and P. KRISTOFFERSEN, 2007: A review of non-chemical weed control on hard surfaces. *Weed Research* **47**, 370–380.
- MERFIELD, C. N., HAMPTON, J. G. and S. D. WRATTEN, 2009: A direct-fired steam weeder. *Weed Research* **49**, 553-556. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2009.00733.x.
- LATSCH, R., J. SAUTER and M. SAUTER, 2013: Eignung unterschiedlicher Applikationsköpfe für die Ampferbekämpfung mit Heißwasser. In: Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5. - 8. März 2013. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm und U. Köpke Verlag Dr. Köster, Berlin, 316-319.

Nutzung von Rhizobakterien und Endophyten zur biologischen Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern

Use of rhizobacteria and endophytes for biological control of weeds

Friederike Trognitz*, Simon Dürr, Siegrid Widhalm, Abdul Samad, Günter Brader, Stéphane Compant und Angela Sessitsch

Austrian Institute of Technology, Department Health and Environment, Bioresources Unit,
Konrad Lorenz Str. 24, AT-3430 Tulln, Austria

*Korrespondierender Autor, friederike.trognitz@ait.ac.at



DOI 10.5073/jka.2014.443.065

Zusammenfassung

Unkräuter und Ungräser tragen weltweit zu hohen Ertragseinbußen bei. Schätzungen zufolge kann mit einem Ertragsverlust von bis zu 34 % gerechnet werden (OERKE, 2006). Die größten Ertragsverluste entstehen durch die Konkurrenz zwischen der Feldfrucht und den Unkräutern für Licht, Nährstoffe und Feuchtigkeit. Invasive Pflanzen tragen teilweise noch zu weiteren Problemen bei. So ist der Pollen der eingeschleppten *Ambrosia artemisiifolia* L., (Beifußblättriges Traubenkraut, Familie Asteraceae) ein starkes Allergen und verlängert die Saison für europäische Pollenallergiker bis in den Oktober.

Traubenkraut ist heute in Europa am häufigsten in Ungarn, Frankreich und Italien anzutreffen. In Österreich sind Populationen vom Osten ausgehend auf landwirtschaftlichen Flächen und an Straßenrändern zahlreich.

Möglichkeiten zur Eindämmung der Populationen existieren kaum. Eine Pflanze produziert bis zu 6000 Samen, die im Boden 40 Jahre überleben. Eine Kontrolle mit Herbiziden ist in Sonnenblumenfeldern aufgrund der biologischen Verwandtschaft beider Pflanzen nicht möglich. Alternativ wird eine Bekämpfung mit biologischen Mitteln angestrebt. Auf *Ambrosia artemisiifolia* spezialisierte herbivore Insekten wurden allerdings nicht gefunden. Die Nutzung von pflanzenassoziierten Rhizobakterien und Endophyten als bioaktive Herbizide wäre eine neue Alternative. Direkt aus *Ambrosia artemisiifolia* isolierte Bakterien haben erhöhte Chancen, selektiv auf diese Pflanze zu wirken, so dass sie auch im Anbau von eng verwandten Kulturen und im biologischen Landbau angewendet werden könnten.

Stichwörter: AMBEL, *Ambrosia artemisiifolia*, Bakterien, Bio-Herbizide, selektive Wirkung

Abstract

Weeds cause severe yield losses in agriculture, with a maximum estimate of 34% of yield loss worldwide due to competition between the crops and the weeds for nutrition, light and humidity (OERKE, 2006). Invasive plants contribute partially to other problems. The pollen of common ragweed, *Ambrosia artemisiifolia* L., for example, is five times more allergenic than grass pollen; already ten pollen grains per m³ air can trigger allergy in sensitized patients, including rhinitis, conjunctivitis and asthma. This neophyte from America has extended the season of allergy in European patients to October.

Common ragweed is currently most frequent in Hungary, France and Italy. In Austria, ragweed populations along roads have increased dramatically since 2000.

The effective means to control this weed of the Asteraceae family are limited; a single plant can produce up to 6000 seeds which stay in the soil for 40 years. Control using selective herbicides is not possible within stands of the Asteraceae member sunflower. Efforts to use herbivore insects as biological control agents also failed due to the unavailability of insects specializing on this ragweed. The use of plant-associated rhizobacteria and endophytes as bio-herbicides offers a novel alternative to conventional methods. By analogy to experiences from other plant-microbe systems, the chances to find microbes of the desired characteristics are highest when isolating and testing specimens directly from ragweed plants. These organisms often have an extremely narrow host range that permits their use for the control of among several even closely related plant species growing together in a field.

Keywords: AMBEL, *Ambrosia artemisiifolia*, Bacteria, bio-herbicide, common ragweed, selective function

Einleitung

Ragweed ist eines von 20 europäischen Unkräutern, das für eine klassische biologische Bekämpfung ausgewählt wurde (SHEPPARD *et al.*, 2005). Die klassische biologische Kontrolle beruht

auf der Selektion und der Ausbringung eines Mittels, das nach der Ausbringung lebensfähig bleibt, sich etabliert und dadurch zu einer langanhaltenden Bekämpfung des Unkrautes beiträgt (BOYETCHKO, 1997). Mehrere Experimente mit Insekten, Pilzen und Bakterien zur Bekämpfung von *Ambrosia artemisiifolia* wurden weltweit durchgeführt (GERBER *et al.*, 2011). Jedoch sind fast alle natürlichen Feinde von *A. artemisiifolia* in Europa nicht nur auf diese Art spezialisiert, und pilzliche Pathogene, die das Wachstum dieses Traubenkrauts eindämmen, sind oft für eine Massenproduktion nicht geeignet (GERBER *et al.*, 2011).

Studien zur Nutzung von Bakterien für die biologische Bekämpfung von Beikräutern und -gräsern begannen um 1990. Der Boden beherbergt eine Vielzahl von Mikroorganismen, die die Rhizosphäre, die Wurzelrinde und andere Pflanzenteile besiedeln können (KLOEPPER *et al.*, 1992).

Diese pflanzen-assoziierten Bakterien leben in einer engen Gemeinschaft mit der Pflanze, und diese Interaktion kann neutral, positiv oder schädlich sein. Die Nutzung von Bakterien zur biologischen Unkrautbekämpfung belastet die Umwelt weniger als konventionelle Herbizide und verringert das Risiko von Pestizidrückständen in Lebensmitteln. Aufgrund der Gesundheitsgefährdung werden in den nächsten Jahren einige Herbizide vom Markt genommen, und somit bieten Bio-Herbizide eine gute Alternative vor allem dort, wo chemische Herbizide verboten sind.

In einigen Studien wurde gezeigt, dass pflanzen-assoziierte Bakterien einen negativen Effekt auf das Pflanzenwachstum von spezifischen Pflanzen haben (eine Übersicht geben KREMER und KENNEDY, 1996). Unter diesen Bakterien befinden sich Bakterien der Gattungen *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Citrobacter* und *Achromobacter* (KREMER *et al.*, 1990). Metabolite wie Auxin und Blausäure werden durch Bakterien produziert und können in hoher Konzentration schädlich für die Pflanze sein. Verschiedene Pseudomonaden zeigten eine Herbizidwirkung in vitro und im Gewächshaus. Der *P.-fluorescens*-Stamm D7 wirkte sich zum Beispiel negativ auf das Wachstum der Dach-Trespe (*Bromus tectorum*), *P.-fluorescens*-LS102 und -LS174 auf das Wachstum der Esels-Wolfmilch (*Euphorbia esula*) und *P.-fluorescens*-BRG100 auf das Wachstum der Grünen Borstenhirse (*Setaria viridis*) aus (CALDWELL *et al.*, 2012). Die Herbizidwirkung von *P.-fluorescens*-BRG100 gegen die Grüne Borstenhirse wird durch sekundäre Metaboliten wie Pseudophomine A und C und andere zyklische Lipopeptide verursacht (PEDRAS *et al.*, 2003). *P.-fluorescens*-WH6 wiederum produziert einen Metabolit, der das Wachstum nach der Keimung hemmt (BANOWETZ *et al.*, 2008). Wirtsspezifische Tests mit unterschiedlichen Stämmen gegen die *Bromus tectorum* haben gezeigt, dass die Effekte der Rhizobakterien und deren Sekundärmetaboliten wirtsspezifisch sind. Tests an Nicht-Wirtspflanzen wie Winter- und Sommerweizen hatten dagegen keinen oder einen sehr geringen schädigenden Effekt, und in manchen Fällen wurde sogar eine Wachstumsförderung der Nicht-Wirte gefunden (Zusammenfassung bei BOYETCHKO, 1997).

Unter den Pflanzen-assoziierten Mikroorganismen werden Endophyten oft übersehen. Als Endophyten werden Bakterien definiert, die in der Pflanze zeitweise oder während der gesamten Entwicklungsdauer leben und dabei keine sichtbaren Symptome an der Pflanze hervorrufen (WILSON, 1995).

Material und Methoden

Zur Isolierung der Rhizobakterien wurden 5 g Boden aus dem Bereich um die Wurzeln in 10 ml steriler 0,85%ige NaCl-Lösung geschüttet und homogenisiert. Danach wurden 100 µl der Lösung auf R2A-Medium (Difco, Detroit, MI) in Dreifachwiederholung plattiert.

Zur Isolierung von Endophyten wurden Wurzeln und Stängel oberflächensterilisiert. Dazu wurden 5 g Wurzeln bzw. 100 mg bis 1 g Stängel mit 70 %igem Ethanol 5 min lang behandelt. Es folgte eine Behandlung des Pflanzenmaterials mit 2,5 %igem Natriumhypochlorit für 5 min. Die Proben wurden danach dreimal mit sterilem Wasser gewaschen. Als nächster Schritt wurde das Pflanzenmaterial in 10 ml steriler 0,85 %iger NaCl-Lösung zerkleinert und gemischt. Der Pflanzensaft wurde in 1:10-Schritten bis zu 1/10⁹ verdünnt und 100 µl jeder Verdünnung wurden

auf R2A-Medium ausplattiert. Zur Kontrolle der Oberflächensterilisierung wurden 100 µl des letzten Waschwassers ebenfalls auf R2A-Medium plattiert.

Die Platten wurden bei 28 °C für 2 bis 5 Tage inkubiert, und danach wurden die Bakterien vereinzelt.

Ergebnisse

Zur Isolierung der Bakterien wurden verschiedene Standorte gewählt, um ein breites Bodenspektrum abzudecken. Zwei Proben stammten von Standorten ohne landwirtschaftliche Nutzung, darunter eine Probe aus dem Naturschutzgebiet Neusiedler See. Dieser Standort zeichnet sich durch seine sandigen, salzhaltigen und trockenen Böden aus. Der zweite Standort war ein aufgelassenes Feld inmitten von Weingärten in Niederösterreich. Des Weiteren wurden zwei Proben von Straßenrändern und eine Probe aus einer feuchten Wiese zwischen Straßenrand und Feld genommen. Ob es wirtsspezifische oder bodenspezifische Bakteriengemeinschaften gibt, werden die weiteren Analysen zeigen. Dafür wird das partielle 16S-rRNA-Gen sequenziert. Abbildung 1 zeigt eine R2A-Mediumplatte mit unterschiedlichen Bakterienisolaten der Rhizosphäre. Es wurden insgesamt je Standort bis zu 400 Bakterien isoliert.

Um die Bakterien auf eine eventuelle Herbizidwirkung zu testen, werden Verfahren benötigt, um möglichst schnell und effektiv eine große Anzahl von Bakterien zu untersuchen. Es wurde ein Test für die Detektion von Cyanwasserstoff (HCN) etabliert, der auf der Methode von FEIGL und ANGER (1966) beruht. Durch diese Methode können gleichzeitig bis zu 96 Bakterien getestet werden (Abb. 2). Wird HCN von den Bakterien gebildet, färbt sich das Feigl-Anger-Papier blau. Zur Bestätigung der Ergebnisse wurde das Gen mittels PCR teilweise isoliert und sequenziert. In allen Fällen wurde das Vorhandensein des HCN-Clusters bestätigt. In einem Vorversuch wurden jeweils 125 Bakterien der Wurzeln und der Rhizosphäre von *Lepidium draba* sowie je 125 Bakterien vom gleichen Standort aus Wurzeln und der Rhizosphäre von Weinrebe auf HCN-Produktion getestet. Die Tabelle 1 zeigt den Anteil von HCN-positiven Bakterien in den einzelnen Pflanzenabschnitten und deren Anteil an der Gesamtanzahl isolierter Bakterien. Die Bakterien werden durch die Sequenzierung des 16S-rRNA-Gens charakterisiert. Obwohl beide Pflanzen am selben Standort standen, im Durchschnitt 20 cm voneinander entfernt, wurden bei der einjährigen Pflanze mehr HCN-produzierende Bakterien gefunden als im Wein. Ob die HCN-produzierenden Stämme eine Herbizidwirkung gegen *Lepidium draba* zeigen, wird in einem weiteren Schritt an den Pflanzen untersucht. Es werden entweder Samen mit den jeweiligen Stämmen inokuliert oder Jungpflanzen mit der Bakterienlösung besprüht. Die Wirkung der Bakterien wird im Vergleich zu unbehandelten Kontrollen evaluiert.

Des Weiteren werden die Bakterien auf das Vorhandensein mögliche phytotoxische Metabolite wie Auxin und Coranatine getestet. Um die Herbizidwirkung festzustellen, werden Pflanzentests an Wirten und an Nicht-Wirten in vitro, im Gewächshaus und im Feld durchgeführt.

Tab. 1 Anzahl der Cyanwasserstoff produzierenden Bakterien in *Lepidium draba* und *Vitis vinifera* am selben Standort.

Tab. 1 Number of hydrogen cyanide producing bacteria of *Lepidium draba* and *Vitis vinifera* from the same site.

Pflanze	Pflanzenteil	Bakterienisolate getestet	Anzahl HCN-positive Bakterien	Anteil der HCN-positiven Bakterien in %
<i>Lepidium draba</i>	Rhizosphäre	125	20	16
	Wurzeln	125	9	7
<i>Vitis vinifera</i>	Rhizosphäre	125	3	2
	Wurzeln	125	5	4

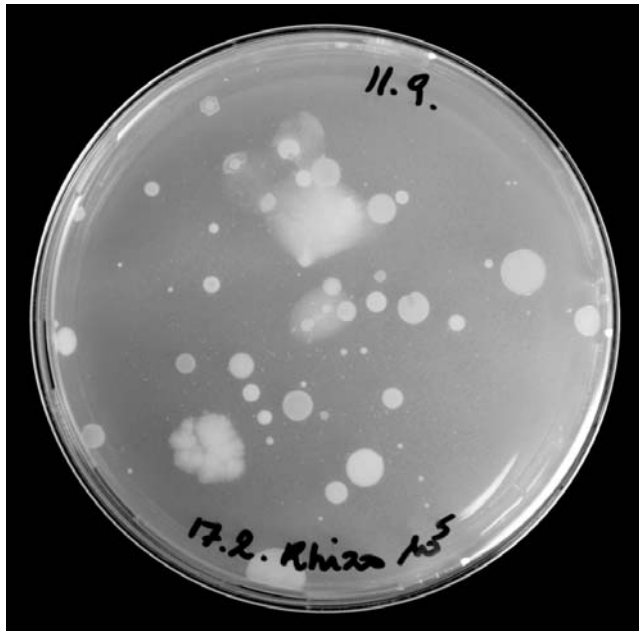


Abb. 1 Bakterien isoliert aus der Rhizosphäre von *Ambrosia artemisiifolia* auf R2A-Platten.

Fig. 1 Bacteria isolated from the ragweed rhizosphere on R2A plates.

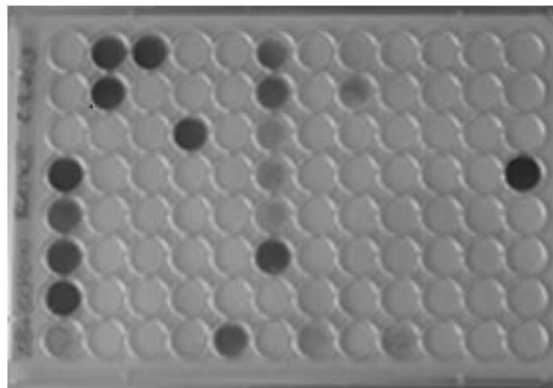


Abb. 2 Test der Bakterien auf Cyanwasserstoffproduktion in 96-iger Platten mit der adaptierten Methode nach FEIGL und ANGER (1966), die Blaufärbung auf dem Filterpapier zeigt die Produktion von Cyanwasserstoff.

Fig. 2 Screening of bacteria for hydrogen cyanide production in 96 well plates with the adapted method from FEIGL und ANGER (1966), the blue color of the filter paper shows the production of hydrogen cyanide.

Diskussion

Das Ziel der Studie ist es, pflanzenassoziierte Bakterien zu finden, die eine Herbizidwirkung auf ausgewählte Beikräuter zeigen. Da die Bakterien aus der Wirtspflanze isoliert werden, erhoffen wir uns eine selektive Wirkung der Bakterien auf die Pflanze. Studien von KREMER *et al.* (1996) haben gezeigt, dass diese Strategie Bio-Herbizide hervorbringen kann, die den Vorteil haben, gezielt zu wirken und im Boden wieder abgebaut werden können. Die Studien haben auch gezeigt, dass

solche Bakterien keinen Effekt oder aber sogar einen positiven Effekt auf Nichtwirtspflanzen haben. Um ein breites Wirkungsspektrum abzudecken, werden mehrere mögliche Wirkungsmechanismen untersucht. Bakterien mit unterschiedlichen Mechanismen können eventuell gemeinsam ausgebracht werden, um so eine schnelle Herbizidresistenzentwicklung zu vermeiden. Erste Resultate werden im Poster aufgezeigt.

Danksagung

Die Arbeiten werden im Rahmen des NÖ Forschungs- und Bildungsges.m.b.H. (NFB) LS12-006 durchgeführt.

Literatur

- BANOWETZ, G. M., M. D. AZEVEDO, D. J. ARMSTRONG, A. B. HALGREN und D. I. MILLS, 2008: Germination-Arrest Factor (GAF): Biological properties of a novel, naturally-occurring herbicide produced by selected isolates of rhizosphere bacteria. *Biological Control* **46**, 380-390.
- BOYETCHKO, S. M., 1997: Principles of biological weed control with microorganisms. *HortScience* **32**, 201-205.
- CALDWELL, C. J., R. K. HYNES, S. M. BOYETCHKO und D. R. KORBER, 2012: Colonization and bioherbicidal activity on green foxtail by *Pseudomonas fluorescens* BRG100 in a pesta formulation. *Canadian Journal of Microbiology* **58**, 1-9.
- FEIGL, F. und V. ANGER, 1966: Replacement of benzidine by copper ethylacetoacetate and tetra base as spot-test reagent for hydrogen cyanide and cyanogen. *Analyst (Lond.)* **91**, 282-284.
- GASSON, M. J. 1980: Indicator technique for antimetabolic toxin production by phytopathogenic species of *Pseudomonas*. *Applied and Environmental Microbiology* **39**, 25-29.
- GERBER, E., U. SCHAFFNER, A. GASSMANN, H. L. HINZ, M. SEIER und H. MÜLLET-SCHÄRER, 2011: Prospects for biological control of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe: learning from the past. *Weed Research* **51**, 559-573.
- KLOEPPER, J. W., B. SCHIPPERS und P. A. H. M. Bakker, 1992: Proposed elimination of the term endorhizosphere. *Phytopathology* **82**, 726-727.
- KREMER, R. J., M. F. T. BEGONIA, L. STANLEY und E. Z. LANHAM, 1990: Characterization of rhizobacteria associated with weed seedlings. *Applied and Environmental Microbiology* **56**, 1649-1655.
- KREMER, R.J. und, A. C. KENNEDY, 1996: Rhizobacteria as biocontrol agents of weeds. *Weed Technology* **10**, 601-609.
- OERKE, E.C., 2006: Crop losses to pests. *J. Agr. Sci.* **144**, 31-43.
- PEDRAS, M. S. C., N. ISMAIL, J. W. QUAIL und S. M. BOYETCHKO, 2003: Structure, chemistry, and biological activity of pseudophomins A and B, new cyclic lipodepsipeptides isolated from the biocontrol bacterium *Pseudomonas fluorescens*. *Phytochemistry* **62**, 1105-1114.
- SHEPPARD, A.W., R. H. SHAW und R. SFORZA, 2006: Top 20 environmental weeds for classical biological control in Europe: a review of opportunities, regulations and other barriers to adoption. *Weed Research* **46**, 93-117.
- WILSON, D., 1995: Endophyte – the evolution of a term, and clarification of its use and definition. *Oikos* **73**, 274-276.

Sektion 6: Entwicklungen bei Herbiziden

Sektion 6: Developments in herbicides

Herbicide Safeners: an overview

Herbizid Safener: ein Überblick

Christopher Rosinger

Bayer CropScience AG, Industriepark Höchst, H872, 65926, Frankfurt am Main, Germany
chris.rosinger@bayer.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.066

Abstract

A significant number of herbicides used in cereals, corn and rice owe their strong efficacy aligned with crop selectivity to safeners. The first commercial safener was 1,8-naphthalic anhydride used as a seed treatment in corn. Since then approximately 20 Safeners have been commercialized in monocot crops, although several were superseded. According to independent market research, in 2011 approximately 30% of herbicide use value from all companies in corn and cereals came from products containing safeners. In rice the percentage was 6%. Almost all safeners work by inducing the expression of genes which code for enzymes involved in herbicide detoxification. Thereby, herbicides are degraded rapidly enough to ensure a damaging concentration is not reached. This gene induction may occur in just one crop or several. For commercial success no significant induction of herbicide degradation should occur in the weeds. The actual molecular target(s) of safeners is/are not known and therefore the reasons for species specificity are unclear. Bayer CropScience has a strong track record of safener discovery and has developed product portfolios based on its safeners mefenpyr-diethyl, isoxadifen-ethyl and cyprosulfamide. Atlantis® WG and Laudis® OD are important Bayer CropScience-products in Germany. These contain mefenpyr-diethyl to safen wheat and isoxadifen-ethyl to safen corn, respectively. The safeners provide an enabling technology which together with strong herbicide molecules has helped farmers to optimize their crop productivity through improved weed management.

Keywords: Crop safety, herbicide detoxification, metabolism, phytotoxicity, safener, selectivity

Zusammenfassung

Eine bedeutende Anzahl von Herbiziden in Getreide-, Mais- und Reisanwendungen verdanken Safenern ihre Nutzpflanzenselektivität bei gleichzeitig starker Unkrautwirksamkeit. Der erste kommerziell angewandte Safener war 1,8-Naphthalinanhydrid, das als Samenbeizung in Mais Anwendung fand. Seitdem wurden annähernd 20 Safener in monokotyledonen Nutzpflanzen kommerzialisiert, obwohl mehrere inzwischen wieder vom Markt verdrängt wurden. Entsprechend unabhängiger Marktforschung wurden 2011 etwa 30 % des Herbizidnutzungswerts von allen Firmen in Mais und Getreide aus Safener-enthaltenden Produktmischungen generiert. In Reis betrug der prozentuale Anteil 6 %. Fast alle Safener wirken, indem sie die Expression von Genen induzieren, die für Enzyme kodieren, welche an der Herbiziddetoxifizierung beteiligt sind. Dadurch werden Herbizide schnell genug abgebaut, wodurch sichergestellt wird, dass keine schädigenden Konzentrationen erreicht werden. Eine derartige Geninduktion kann nur in einer oder auch in mehreren Nutzpflanzen erfolgen. Für den kommerziellen Erfolg sollte keine signifikante Induktion des Herbizidabbaus in Unkräutern oder Ungräsern erfolgen. Das aktuelle molekulare Target von Safenern ist nicht bekannt, wodurch der Grund für eine Nutzpflanzenspezifität noch unklar ist. Bayer CropScience kann auf eine starke Erfolgsgeschichte in der Safenerentdeckung zurückblicken und hat Produktportfolios entwickelt, die auf seine Safener Mefenpyr-diethyl, Isoxadifen-ethyl and Cyprosulfamid basieren. Atlantis® WG und Laudis® OD sind wichtige Bayer CropScience-Produkte in Deutschland. Diese enthalten zum einen Mefenpyr-diethyl um Weizen und zum anderen Isoxadifen-ethyl um Mais zu sichern. Die Safener liefern die technologische Voraussetzung, die es dem Landwirt erlaubt, mit starken Herbiziden seine Produktivität im Unkrautmanagement zu optimieren.

Stichwörter: Nutzpflanzensicherheit, Herbiziddetoxifizierung, Metabolismus, Pflanzentoxizität, Safener, Selektivität

Introduction

In herbicide research, new test compounds synthesized by chemists face many hurdles before they might reach the market place. First and foremost they must have herbicidal activity at rates that permit cost effective use. The weed spectrum has to fit the commercial targets for prospective use scenarios, and increasingly compounds must also control herbicide resistant weed biotypes. The compound must meet regulatory criteria (toxicology, ecotoxicology and environmental fate) so as to allow registration. All these hurdles together mean the chance of any specific new molecule reaching the market is extremely low. When a new area of chemistry with herbicidal potential is discovered, exploration and fine tuning will usually provide stronger and weaker compounds. To fulfill the weed control hurdles, only the stronger compounds are likely to be of interest. However, these more active and broader spectrum compounds are more likely to damage crops and therefore not be commercially viable. It is this fundamental problem of compromise between weed control and crop safety that has been the driving force behind the commercial success of safeners - chemicals which prevent crop injury without significantly reducing weed control (HATZIOS and HOAGLAND, 1989; DAVIES and CASELEY, 1999; ROSINGER *et al.*, 2012). Using safener technology may therefore enable a range of the strongest compounds to be used without crop injury, and so significantly increase the chance that a particular area of chemical research can deliver a selective herbicide product to the farmer. The aim of this article is to provide an overview of safener technology, including a brief history, the mode of action and, using commercial examples from the herbicide market in Germany, their commercial utility.

Why Safeners?

There are many hurdles which new herbicide molecules must overcome between the research chemists bench and the farmers field. In aiming for strong weed control, it is likely that crop plants will also become injured. Alternatively compounds with good crop tolerance (even in only a single crop) will tend to have weaker overall activity and/or gaps in the spectrum of weeds needing to be controlled. An example of this can be seen from Bayer CropScience herbicide research into 4-Hydroxyphenylpyruvate Dioxygenase (HPPD) inhibitors (Fig. 1).

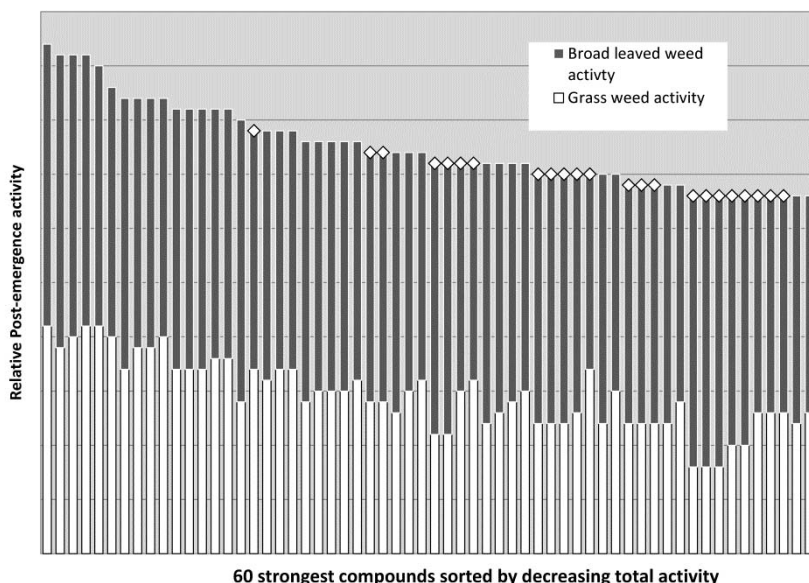


Fig. 1 Selectivity in wheat of 60 HPPD inhibitors sorted by total post-emergence activity.

Abb. 1 Selektivität in Weizen von 60 HPPD Inhibitoren sortiert nach Gesamtwirkung im Nachauflauf.

The herbicidal activity against a selection of target grass and broad-leaved weeds was assessed after post-emergence applications in the glasshouse. The 60 strongest compounds were ranked according to overall relative efficacy and then the post-emergence selectivity in wheat was overlaid onto the efficacy data. Selectivity was defined as injury (bleaching/necrosis) under 10% at the dose rate used for ranking weed control. Based on this definition only one compound from the 20 most active was selective in wheat. Out of the next 20 compounds 8 were selective, but from the remaining weaker compounds 14 were selective. During the investigation of herbicidal chemical classes usually many thousands of compounds will be prepared, but the tendency shown by this example remains true.

Even herbicides which do reach field testing for selective use in crops can have selectivity limitations. For example, crop damage may be increased under adverse weather conditions or on particular soils. Also, crop varieties can vary strongly in their tolerance towards a specific herbicide. This can be exemplified by tembotrione applied post-emergence at a dose of 300 g/ha (3x of maximum registered rates) to 71 corn varieties in field trials (Fig. 2). In the absence of safener most varieties (59) showed either no injury or less than 10% which was considered acceptable. Whilst, this clearly indicates a high level of crop tolerance for the compound, 12 varieties did show unacceptable damage greater than 10%, with some showing up to 50% injury. The addition of a safener (in this case 150 g of Isoxadifen-ethyl) reduced crop injury even in the most sensitive varieties to an acceptable level.

Since the invention and commercialization of herbicide tolerant (HT) crops (using genetic modification or natural mutant selection) the question arises whether safeners are still required. Because safeners had been used for over 20 years before HT was developed, companies with proprietary safeners tested them for safening effects on their newer herbicides. Where safening was adequate, the extensive R and D necessary to provide HT solutions could be avoided and a product portfolio could be developed based on individual safeners. Thus, despite the introduction of HT technology, safeners still capture significant market values in cereals, corn and to a lesser extent rice.

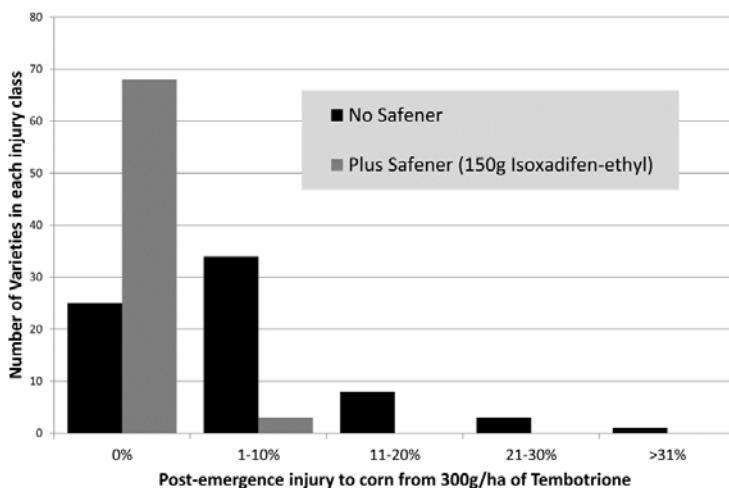


Fig. 2 Effect of safener on post-emergence field injury in 71 corn varieties from 300 g/ha tembotrione.

Abb. 2 Schäden von 300 g/ha Tembotrione in 71 Mais-Sorten im Nachauflauf alleine und mit Safener.

History of Safeners

The history of safeners, including structures and properties, has been the subject of several extensive reviews (HATZIOS and HOAGLAND, 1989; DAVIES and CASELEY, 1999; ROSINGER *et al.*, 2012; JABLONKAI, 2013). Therefore, this section gives just a brief summary of the commercial safeners. The first safener was 1,8-naphthalic anhydride (NA). It was launched in 1971 by Gulf Oil Company under the trade name Protect[®], and it was used as a seed treatment in corn (HOFFMAN, 1969). Safening was provided against pre-emergence thiocarbamate herbicides such as EPTC, butylate and vernolate from Stauffer (now Syngenta). The 1970s and 80s saw the launch of five further commercial safeners that were used in seed treatment in corn and sorghum. The first was cyometrinil, an oxime ether launched as Concep I[®] in 1978 by Ciba-Geigy (now Syngenta). It was used to safen sorghum against the Ciba-Geigy chloroacetanilide pre-emergence herbicide metolachlor. Whilst safeners applied to the crop seeds have little or no potential for antagonism of weed control, they can have negative effects on crop germination and emergence. This was the case with cyometrinil and in 1982 Ciba-Geigy replaced it with a better tolerated analogue, oxabetrinil (Concep II[®]). This was then also replaced in 1986 by a third analogue, fluxofenim (Concep III[®]). In 1983 Monsanto launched the safener flurazole, also for sorghum seed treatment. Although it comes from a different chemical class to the oxime ethers, it also had a pre-emergence chloroacetanilide herbicide as the target for safening; namely the Monsanto compound alachlor. The oxime ethers and flurazole were produced by the same companies as the herbicides to be safened and therefore provided a sustainable value capture model that was not the case for NA from Gulf.

In 1972 the first safener which could be used in mixture with the herbicide was launched by Stauffer. This was the dichloroacetamide compound dichlormid which safened corn against pre-emergence thiocarbamate herbicides. In addition to dichlormid several further dichloroacetamide safeners were commercialized in the 1980s and early 1990s for pre-emergence use in corn. The most important of these are benoxacor, furilazole and AD67, all of which safen corn against chloroacetanilide herbicides. MG191 is another pre-emergence corn safener still in use. It is from a slightly different chemical class, but is also a dichloro-substituted low molecular weight compound. It was commercialized by the state run institute in Hungary in the 1980s. The use of safeners in co-formulation products versus seed treatment was a significant step forward in simplifying safener technology from both the farmer and manufacturer perspective. The farmer could apply the product just as if the herbicide were *per se* selective without the added complication of a seed treatment. For the manufacturer it meant better control of the product performance containing its herbicides (e.g. optimum herbicide/safener ratios). On the other hand the safener had to fulfill criteria that the seed treatment safeners did not. In particular the physico-chemical properties must allow co-formulation compatibility with the herbicide and of course no negative effect on control of target weeds. In addition, the soil and plant uptake characteristics of pre-emergence and seed treatment safeners will need to be different. In 1983 the first safener which could be used in rice was launched by Ciba-Geigy. This was fenclorim, and it safened the crop against the pre-emergence herbicide pretilachlor. It is a phenyl-pyrimidine unrelated to the above mentioned pre-emergence corn safeners, and has no appreciable safening activity in that crop. Daimuron (Dymron), cumyluron and dimepiperate are actually registered as herbicides. However, all three have a safening effect in rice especially against sulfonylurea (SU) herbicides like bensulfuon and azimsulfuron. Certainly the safening activity was discovered serendipitously as herbicide mixture concepts were being developed for the SU herbicides.

Tab. 1 List of commercialized safeners.**Tab. 1** Auflistung von kommerzialisierten Safenern.

Safener	Crop	Main timing	Safener	Crop	Main timing
Naphthalic anhydride	Corn	Seed treatment	Daimuron (Dymron)	Rice	Water surface application
Cyometrinil	Sorghum	Seed treatment	Cumyluron	Rice	Water surface application
Oxabetrinil	Sorghum	Seed treatment	Dimepiperate	Rice	Water surface application
Fluxofenim	Sorghum	Seed treatment	Fenclorim	Rice	Pre-emergence
Flurazole	Sorghum	Seed treatment	Cloquintocet-mexyl	Cereals	Post-emergence
Dichlormid	Corn	Pre-emergence	Fenclorazole-ethyl	Cereals	Post-emergence
Benoxacor	Corn	Pre-emergence	Mefenpyr-diethyl	Cereals	Post-emergence
Furilazole	Corn	Pre-emergence	Isoxadifen-ethyl	Corn/Rice	Post-emergence
AD67	Corn	Pre-emergence	Cyprosulfamide	Corn	Pre- and post-emergence
MG191	Corn	Pre-emergence	Dietholate	Rice/Cotton	Seed treatment

In the late 1980s the next big step in safener technology was made by Hoechst AG (now Bayer CropScience AG) and Ciba-Geigy. Both companies discovered and commercialized safeners that could be used for the first time post-emergence and in cereals. For Hoechst it was fenclorazole and for Ciba Geigy, cloquintocet-mexyl. Although these are from different chemical classes, both were introduced to safen against ACCase inhibitors (fenclorazole with fenoxaprop-ethyl and cloquintocet with clodinafop-propargyl). Hoechst AG subsequently replaced fenclorazole with mefenpyr-diethyl which had significantly better safening ability in barley. In the years since mefenpyr-diethyl and cloquintocet-mexyl were launched which have been used to safen newer herbicides from various chemical classes. For mefenpyr-diethyl prime examples are mesosulfuron-methyl and pyrasulfatole, and for cloquintocet-mexyl, pinoxaden and pyroxsulam.

Isoxadifen-ethyl was commercialized in 2002 by AgrEvo (now Bayer CropScience AG) and is the first safener with strong multi-crop (corn and rice) and multi-herbicide (e.g. fenoxaprop-ethyl, foramsulfuron, tembotrione) activity. In all cases isoxadifen-ethyl is used in post-emergence products. The most recently commercialized safener is cyprosulfamide which was launched by Bayer CropScience AG in 2009. It is strongly active in corn and sorghum and is particularly interesting because it can safen both pre- and post-emergence herbicides. The final safener of note is dietholate from FMC. This is used in several crops, most especially rice and cotton, to safen against clomazone. As far as the author is aware this is the only commercial safener used in a dicot crop.

The value of safeners?

To control weeds in conventional (non-HT) crops, farmers have a range of selective herbicide products available. For the farmer it is not important that the selectivity comes innately from the herbicide or that a safener is included. From this viewpoint the safener has no value – the farmer

primarily pays for weed control! So what is the value of the safener? Various market research sources annually gather sales data on agrochemicals. Using this data it is possible to define the sales of products which contain safeners and those that do not. This can be broken down further per crop. Figure 3 shows the percentage values of safened products for 2011, where the total value of safened products was approximately 1,7bio €. This is probably a slight underestimate because it is not always clear whether a product contains a safener or not.

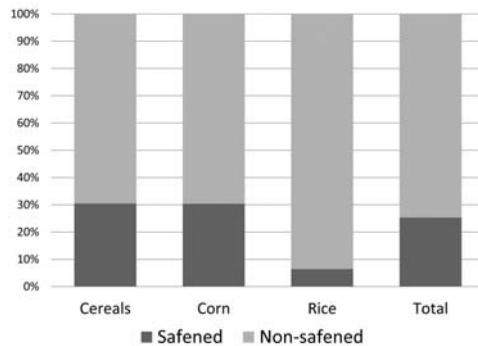


Fig. 3 Value of safened herbicide products in 2011 as a percentage of total herbicide sales.

Abb. 3 Wert der auf Safenertechnologie-basierenden Herbizidprodukte im Jahr 2011 als prozentualer Anteil vom Gesamtherbizidumsatz.

Safener mode of action

The way safeners reduce crop injury has been investigated for many decades and is the subject of several review articles (DAVIES and CASELEY, 1999). The idea that safeners might reduce herbicide uptake or translocation was tested extensively and in some cases effects were seen. However, as more data was gathered it became increasingly clear that almost all safeners primarily work by enhancing the degradation of the herbicides to inactive metabolites in the crop (RIECHERS *et al.*, 2010; ROSINGER *et al.*, 2012).

Several herbicides (e.g. isoxaflutole and many esters) are themselves not active at the target site. These can be termed prodrugs (or proherbicides) and they must first be transformed to the active principle in the plant or sometimes also in the soil. Once in the active form these herbicides, as well as those which are directly active, then undergo further metabolism to inactive compounds and conjugates. The speed of these transformations is the main reason for crop selectivity and weed control (DROBNY *et al.*, 2012). If the rate of metabolism to inactive forms in the crop is too slow then herbicidal damage will occur. On the other hand if detoxification is too fast in the weeds, then control is reduced or lost (e.g. metabolic resistance). Figure 4 shows theoretical curves for the concentration of active herbicide in the plant over time after a post-emergence application with and without an effective safener. With the safener added, the herbicide is more quickly metabolized and as a result the threshold which would cause visible crop damage is not reached.

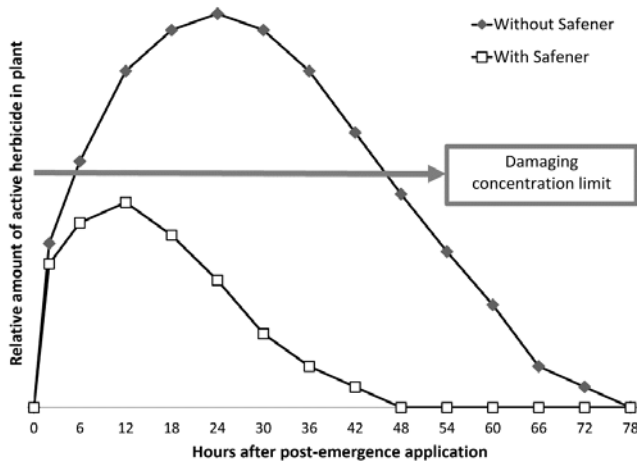


Fig. 4 Theoretical kinetics of herbicide concentration in crop plant.

Abb. 4 Theoretische Kinetiken von Herbizidkonzentrationen in Kulturpflanzen.

Herbicide detoxification often involves a three or four step enzymatic process (HATZIOS, 1991; VAN EERD and HOAGLAND, 2003) and it is known that safeners can increase the speed of at least the first three stages (ZHANG *et al.*, 2007). Firstly, Cytochrome P450 catalyzed reactions can oxidize, reduce or hydrolyze the herbicide to introduce or expose a functional group. For many herbicides, just this first step produces inactive metabolites. However, for some pro-herbicides, as mentioned above, this step may be responsible for activation (e.g. hydrolysis of inactive fenoxaprop-P-ethyl to the active acid fenoxaprop-P). The next step involves conjugation reactions in which the herbicide or herbicide metabolite links with endogenous molecules such as glutathione (GSH), glucose (Glc) or amino acids. The enzymes which catalyze these reactions are primarily glutathione S-transferases (GSTs) and UDP-dependent glycosyltransferases (UGTs). GSTs are multi-functional enzymes in the cytosol and their main role in herbicide detoxification is that the resulting conjugates are primed for transport into the vacuole. Glucose conjugation can lead to O-, S-, and N-glucosides, glucose ester and malonyl-glucose-conjugates. Glucose conjugates can be subjected to secondary conjugation to form glucosyl-glucosides or, by malonyl-transferases, to 6-O-malonyl-glucosides. The third stage of herbicide detoxification is the transport of conjugates to the vacuole where further catabolic reactions can occur. This transport into vacuoles is frequently catalyzed by various ATP-binding cassette (ABC) transporters in the tonoplast or plasma lemma (TOMMASINI *et al.*, 1997). Degradation of GSH conjugates in the vacuole, catalyzed by peptidases which remove the amino acid glycine and then glutamate are sometimes referred to as the fourth step in herbicide detoxification. Because safeners seem to only influence the speed of herbicide metabolism it is unsurprising that they do not alter the metabolic pathways. In other words, no new metabolites are found in safener treated plants.

The speed at which the herbicide detoxification occurs depend on the levels of the various enzymes mentioned above and these in turn are dependent upon the expression levels of the genes which code for them. There is now strong evidence that hundreds of genes encoding proteins involved in herbicide detoxification are induced within a few hours of safener application (KREUZ and TOMMASINI, 1996; THEODOULOU *et al.*, 2003; ZHANG *et al.*, 2007). This induction suggests that safeners work at the transcriptional level and surprisingly such gene activation is also seen in non safener target dicot species suggesting a common molecular safener mode of action for all plants (DERIDDER *et al.*, 2002). Gene expression profiling experiments especially in *Arabidopsis* indicate parallels between the oxidative stress related oxylipin pathway and safener signaling (RIECHERS *et al.*, 2010). In response to oxidative stress plants accumulate oxidized lipids (oxylipins,

cyclopentenones, phytoprostanes) derived from alpha-linolenic acid. These compounds were shown to induce the expression of genes involved in defense and detoxification reactions. It is suggested, that safeners could interfere with this signaling pathway and thus induce the expression of genes involved in detoxification of xenobiotics. There also seems to be a degree of overlap between safener induced gene expressions and the plant stress defense signaling pathway involving salicylic acid (SA). Indeed it could be shown that many safener-regulated genes are induced by salicylic acid (BEHRINGER *et al.*, 2011). Therefore it appears that several signaling pathways may contribute to the full safener response in plants. However the primary target of safener signaling is still unknown. Future studies may provide a clearer understanding of these signaling cascades and also help to explain why safeners work well in specific crops, and not in weeds.

The mode of action of dietholate is rather unique. Before being introduced as a safener, it was used as an "extender" for thiocarbamate herbicides, working by inhibiting the cytochrome P450 activity of soil microbes which were responsible for rapid degradation of these soil applied herbicides. Commercially dietholate it is only used to safen clomazone which itself is not herbicidal. Research indicates that clomazone must be metabolized by cytochrome P450 to the herbicidally active 5-keto clomazone and that dietholate inhibits the cytochrome P450 in plants (FERHATOGLU *et al.*, 2005; FERHATOGLU and BARRETT, 2006). Therefore, this safening mechanism relies on an opposite effect to other safeners (i.e. reduced rather than enhanced metabolism).

Two examples of safener based products from Germany

A manufacturer with access to one or more safeners and a strong herbicide research pipeline may be able to develop a significant range of safener-containing weed control products. For example, Bayer CropScience AG (BCS) has developed a wide range of products in cereals, corn and rice based on its three safeners, mefenpyr-diethyl, isoxadifen-ethyl and cyprosulfamide. In Germany safened products are sold in cereals (especially wheat) and corn. For BCS two important products can be used as examples; namely Atlantis[®] WG in cereals and Laudis[®] OD in corn. Atlantis[®] WG contains 30 g/kg mesosulfuron-methyl, 6 g/kg iodosulfuron-methyl sodium and 90 g/kg of the safener mefenpyr-diethyl. It is used for post-emergence grass and broad-leaved weed control in winter wheat, rye, triticale and spelt. Applications may be made in autumn or spring and dose rates range from 150 g/ha to a maximum of 500 g/ha. This maximum rate contains 15 g of mesosulfuron-methyl, 3 g of iodosulfuron-methyl and 45 g of safener. The safening power of mefenpyr-diethyl can be seen under glasshouse conditions in Figure 5. The experiment used 60 g/ha of mesosulfuron (4x max. field rate) applied post-emergence to wheat and barley with low rates of safener. The trial clearly shows why mesosulfuron plus mefenpyr-diethyl can be used in wheat (maximum injury reduced from 40-65% to 0% by the safener) but not in barley where safening was insufficient. The same experiment contained a lower rate of mesosulfuron combined with higher rate of mefenpyr-diethyl to check for antagonism in grass weed control. The efficacy level against *Avena fatua* (AVEFA), *Alopecurus myosuroides* (ALOMY) and *Lolium multiflorum* (LOLMU) was not changed significantly.

Laudis OD[®] (an oil dispersion formulation) contains 44 g/L tembotrione and 22 g/L isoxadifen-ethyl and is used post-emergence in corn to control grass and broad-leaved weeds. The application rate can range from 1.7 to 2.25 L/ha meaning a maximum dose of tembotrione of approximately 100 g/ha and 50 g/ha of safener. As shown in Figure 2, even at 3 times this maximum rate, tembotrione is extremely well tolerated by most corn varieties. However, a number of varieties show higher sensitivity, and in field trials the variety Lorenzo was identified as especially sensitive (50% injury at 300 g tembotrione). Figure 6 shows glasshouse results at various post-emergence rates of tembotrione and isoxadifen-ethyl on this sensitive variety and green foxtail (*Setaria viridis*) as an indicator of weed control levels. The 2:1 ratio of herbicide to safener, that was used in the final product, had no significant effect on weed control, whilst completely safening this highly sensitive corn variety.

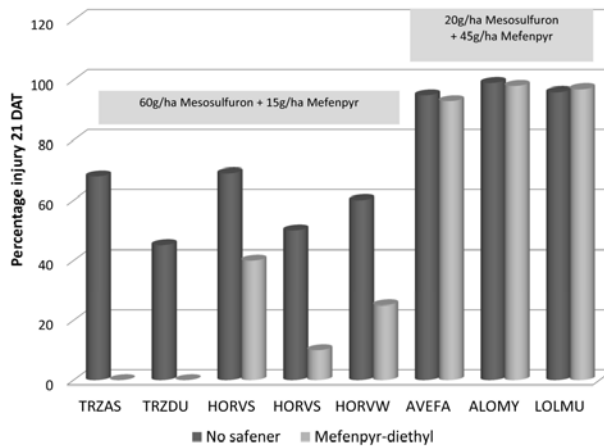


Fig. 5 Effect of mefenpyr-diethyl on crop injury and weed control of post-emergence mesosulfuron-methyl.

Abb. 5 Einfluss von Mefenpyr-diethyl auf Kulturschäden und Unkrautbekämpfung von im Nachauflauf angewandtem Mesosulfuron-methyl.

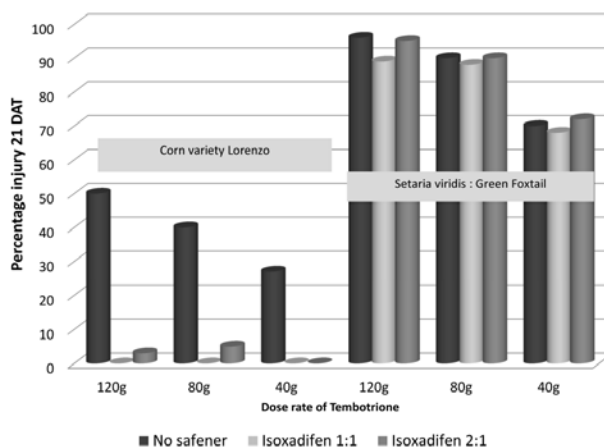


Fig. 6 Effect of Isoxadifen-ethyl on crop injury and weed control of post-emergence tembotrione.

Abb. 6 Einfluss von Isoxadifen-ethyl auf Kulturschäden und Unkrautbekämpfung von im Nachauflauf angewandtem Tembotrione.

References

- BEHRINGER, C., K. BARTSCH and A. SCHALLER, 2011: Safeners recruit multiple signalling pathways for the orchestrated induction of the cellular xenobiotic detoxification machinery in Arabidopsis. *Plant Cell Environ.* **34**(11), 1970-1985.
- DAVIES, J., 2001: Herbicide safeners – commercial products and tools for agrochemical research. *Pesticide Outlook* **12** (1), 10–15.
- DAVIES, J. and J. CASELEY, 1999: Herbicide safeners: a review. *Pesticide Science* **55** (11), 1043–1058.
- DERIDDER, B. P., D. P. DIXON, D.J. BEUSSMAN, R. EDWARDS and P. B. GOLDSBROUGH, 2002: Induction of glutathione S-transferases in Arabidopsis by herbicide safeners. *Plant Physiol.* **130**(3), 1497-1505.
- DROBNY, H. G., M. SCHULTE and H. J. STREK, 2012: 25 years of sulfonylurea herbicides – a few grams changed the world of chemical weed control. In: Proc. 25th German Conference on weed biology and weed control. In: NORDMEYER, H. and L. ULBER, Julius-Kühn-Archiv **434**, 21-33.

- FERHATOGLU, Y., S. AVDIUSHKO and M. BARRETT, 2005: The basis for the safening of clomazone by phorate insecticide in cotton and inhibitors of cytochrome P450s. *Pestic. Biochem. Physiol.* **81**(1), 59–70.
- FERHATOGLU, Y. and M. BARRETT, 2006: Studies of clomazone mode of action. *Pestic. Biochem. Physiol.* **85**(1), 7-14.
- HATZIOS, K., 1991. Biotransformations of herbicides in higher plants. In: *Environmental Chemistry of Herbicides*. Grover, R. and A.J. Cessna, Boca Raton, CRC Press, 141-185.
- HATZIOS, K. and R. HOAGLAND, 1989: Crop Safeners for Herbicides. San Diego, Academic Press, 400.
- Hoffman, O., 1953: Inhibition of auxin effects by 2,4,6-trichlorophenoxyacetic acid. *Plant Physiol.* **28** (4), 622–628.
- HOFFMAN, O.L., 1969: Chemical antidotes for EPTC on corn. *Abstracts Weed Sci. Soc. Am.*, 12.
- JABLONKAI, I., 2013: Herbicide safeners: Effective tools to improve herbicide selectivity. In: *Agricultural and Biological Sciences : "Herbicides - Current Research and Case Studies in Use"*. PRICE, J. and KELTON, J.A., Online, Intech (<http://dx.doi.org/10.5772/55168>).
- KREUZ, K., R. TOMMASINI and E. MARTINOIA, 1996: Old Enzymes for a New Job Herbicide Detoxification in Plants. *Plant Physiol.* **111**, 349-353.
- RIECHERS, D.E., KREUZ, K. and ZHANG, Q., 2010: Detoxification without intoxication: herbicide safeners activate plant defense gene expression. *Plant Physiology* **153** (1), 3-13.
- ROSINGER, C., K. BARTSCH and W. SCHULTE, 2012: Safeners for Herbicides. In: *Modern Crop Protection Compounds*. Krämer, W., U. Schirmer, P. Jeschke and M. Witschel, Weinheim, Wiley-VCH, 371-398.
- SANCHOTENE, D. M., N. D. KRUSE, L. A. AVILA, S. L. O. MACHADO, G. A. NICOLodi and S. H. B. DORNELLES, 2010 : Phorate and dietholate act as safeners for rice against clomazone at high doses. *Planta Daninha* **28**(4), 909-912.
- THEODOULOU, F. L., I. M. CLARK, X. L. HE, K. E. PALLETT, D.J. COLE and D. L. HALLAHAN, 2003: Co-induction of glutathione-S-transferases and multidrug resistance associated protein by xenobiotics in wheat. online: *Pest Management Science* **59**(2), 202-214.
- TOMMASINI, R., E. VOGT, J. SCHMID, M. FROMENTAU, N. AMRHEIN and E. MARTINOIA, 1997: Differential expression of genes coding for ABC transporters after treatment of *Arabidopsis thaliana* with xenobiotics. *FEBS Letters* **411**(2-3), 206-210.
- VAN EERD, L. L., R. E. HOAGLAND, R. M. ZABLOTOWICZ and J. C. HALL, 2003: Pesticide metabolism in plants and microorganisms. *Weed Science* **51**, 472–495.
- ZHANG, Q., F. XU, K. N. LAMBERT and D. E. RIECHERS, 2007: Safeners coordinately induce the expression of multiple proteins and MRP transcripts involved in herbicide metabolism and detoxification in *Triticum tauschii* seedling tissues. *Proteomics* **7**(8), 1261-1278.

SYD 11720H – Eine neue Herbizidkombination zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Getreide im Herbst

SYD 11720H - A new herbicide combination for grass weed and dicot control in cereals in autumn application

Hans Raffel* und Ingo Meiners

Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, 63477 Maintal

*Korrespondierender Autor, hans.raffel@syngenta.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.067

Zusammenfassung

SYD 11720H ist eine neue, von Syngenta Agro entwickelte selektive Herbizidkombination zur Ungras- und Unkrautbekämpfung in Wintergetreide. Es ist als Suspoemulsion mit 604,5 g/l Aktivsubstanz formuliert und enthält die Wirkstoffe Prosulfocarb (600 g/l) und Pyroxsulam (4,5 g/l) sowie den Safener Cloquintocet-mexyl (4,5 g/l). Angewendet wird SYD 11720H mit einer Aufwandmenge von 4,0 l/ha in Kombination mit einem Additiv um die Wirkung bei ungünstigen Anwendungsbedingungen zu stabilisieren. Die wesentliche Neuerung von SYD 11720H besteht in der Kombination aus einem vorrangig bodenaktiven (Prosulfocarb) und blattaktiven (Pyroxsulam) Wirkstoff. Hierdurch wird ein längeres Anwendungsfenster bzw. eine frühere Anwendung bei geringer Abhängigkeit von Witterungseinflüssen ermöglicht. Die volle Flexibilität im Nachbau von Kulturen ist gegeben. Von besonderer Bedeutung ist die gute Wirksamkeit gegen winterannuelle Ungräser und dikotyle Arten zu nennen. Die Zulassung ist für den Nachauflauf im Herbst in Winterweizen, Winterroggen und Wintertriticale ab dem 1-Blattstadium (BBCH 11) bis zum Schossbeginn (BBCH 21) des Getreides beantragt. Die Zulassung wird zur Herbstsaison 2014 erwartet.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, Getreideherbizid, Prosulfocarb, Pyroxsulam, Ungrasbekämpfung,

Summary

SYD 11720H is a new, selective herbicide developed by Syngenta agro for grass weed and dicot control in winter cereals. It is formulated as suspoemulsion with 604,5 g active ingredient per liter and contains the active ingredients Prosulfocarb (600 g/L) and Pyroxsulam (4,5 g/L), as well as the safener Cloquintocet-mexyl (4,5 g/L). SYD applied 11720 H with a rate of 4.0 L/ha in combination with an additive in order to stabilize the efficacy under adverse conditions. The essential innovation of SYD 11720H is the combination of a primarily soil-active (Prosulfocarb) and leaf-active (Pyroxsulam) active ingredient. This allows a longer application window or a previous application regardless of weather conditions. The product has no carry over limitations and allows the full flexibility in recropping. The major benefit which is of particular importance is the good efficacy against winter annual grass weeds and dicotyledonous species. The registration is requested for the post-emergence application use in autumn in winter wheat, winter rye, and winter triticale from the 1-leaf growth stage (BBCH 11) to beginning of tillering (BBCH 21) of the crop.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, cereal herbicide, grass weed control, prosulfocarb, pyroxsulam

Einleitung

Die Ungrasprobleme in Ackerbaukulturen haben in den zurückliegenden Jahren zugenommen, obwohl regelmäßige Bekämpfungsmaßnahmen zum Standard der Produkttechnik gehören. Frühe Aussaattermine, wie sie regional bei Wintergetreide vorgenommen werden, begünstigen die Entwicklung im Herbst auflaufender Ungräser wie beispielsweise Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Windhalm (*Apera spica-venti* L.). Aus diesem Grund ist die Herbizidbehandlung eine der ersten Maßnahmen, die sich maßgeblich auf den späteren Anbauerfolg auswirkt. Eine effiziente, frühe Ungras- und Unkrautbekämpfung ist dabei vorteilhaft, da bereits in so frühen Entwicklungsstadien die Konkurrenz um Wasser oder Nährstoffe ausgeschaltet wird. Mit der Einführung von SYD 11720H steht zukünftig eine sehr gute und breite Lösung zur Bekämpfung von getreidetypischen bedeutsamen Ungräsern und Unkräutern im frühen Nachauflauf im Herbst zur Verfügung. Die wesentliche Neuerung von SYD 11720H besteht in der Kombination aus einem

vorrangig bodenaktivem und einem blattaktiven Wirkstoff. Hierdurch wird ein längeres Anwendungsfenster bzw. eine frühere Anwendung unabhängig von Witterungseinflüssen ermöglicht. Durch die optimierte Formulierung wird in der Kombination der Wirkstoffe eine synergistische Leistung gegenüber den Einzelwirkstoffen erreicht. Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit der neuen Formulierung SYD 11720H unter Feldbedingungen zu prüfen.

Material und Methoden

Freilandversuche mit SYD 11720H werden in Deutschland seit 2010/11 in den Kulturen Winterweizen, Winterroggen und Wintertriticale durchgeführt. Alle Versuche wurden auf landwirtschaftlichen Praxisflächen als randomisierte Blockanlage mit 3-4 Wiederholungen und 7,5 - 25 m² Parzellengröße angelegt. Die Bonituren wurden visuell auf Selektivität und biologische Wirkung nach EPPO- Richtlinien durchgeführt. Die Bewertung erfolgte prozentual im Vergleich zur unbehandelten Kontrollparzelle. Nach dem Rispen- bzw. Ährenschieben der Ungräser wurde in den meisten Fällen eine zusätzliche abschließende Zählung der Rispen bzw. der Ähren pro m² vorgenommen.

Parallel zu den Freilanduntersuchungen werden seit 2011 im Rahmen eines Ackerfuchsschwanz Resistenz Monitorings Sensitivitätsstudien durch die Fachhochschule Bingen durchgeführt. Hierbei wurden bisher 179 Samenproben von Verdachtsflächen aus der Praxis durch einen Biotest im Gewächshaus auf Resistenz untersucht. Die Herkünfte wurden in einen gedämpften sandigen Lehmboden (~pH 6,3 und Humusgehalt 2 %) in 8 cm Jiffy-Gefäße gesät, unter kontrollierten Gewächshausbedingungen angezogen und durch Anstauen von unten nach Bedarf bewässert. Zu Stadium BBCH 11-12 erfolgten die Behandlungen mit der angestrebten registrierten und der zweifachen Aufwandmenge von SYD 11720H im Vergleich mit gängigen Herbiziden zur Ungrasbekämpfung mit Hilfe einer Laborapplikationskabine (Schachtner). Die Herbizidwirkung wurde nach 22 Tagen anhand der gebildeten Sprossfrischmasse im Vergleich zu unbehandelten Kontrolle visuell bewertet. Die Resistenzeinstufung erfolgte im Vergleich zu sensitiven und bekannt resistenten Herkünften in fünf Klassen nach CLARKE *et al.* (1994).

Ergebnisse

Wirkungsspektrum

Das in Feldversuchen ermittelte Wirkungsspektrum von SYD 11720H in Kombination mit 1,0 l/ha Additiv erstreckt sich auf ein breites Spektrum für Getreide typische winterannuelle Ungräser und dikotyle Arten (Tab.1). Unter den Wirkungsstärken hervorzuheben ist die gute Bekämpfbarkeit aller wichtigen Ungräser wie Ackerfuchsschwanz, gemeiner Windhalm, jährige Rispe, Weidelgras-Arten sowie Trespens-Arten. Unkräuter oder Ungräser, die im Frühjahr auflaufen, werden nicht erfasst.

Einfluss der Witterung auf die herbizide Wirksamkeit

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse nach den zum Anwendungszeitpunkt aufgezeichneten Temperaturen ausgewertet und in unterschiedliche Temperaturbereiche zusammengefasst. Bei dieser Auswertung wird keine Untergliederung der Entwicklungsstadien zum Zeitpunkt der Anwendung vorgenommen. Durch Witterung hervorgerufene jahresbedingte Unterschiede werden schon in den Zeiträumen, in denen die Anwendungen durchgeführt wurden, deutlich. Während in 2010 und 2012 die Anwendungen zwischen Ende September bis Ende November durchgeführt wurden, war in 2011 der Zeitraum zwischen Mitte September bis Mitte Oktober früher und kürzer gefasst.

Tab. 1 Bekämpfungserfolge nach Herbst - Nachauflaufanwendung von 4,0 l/ha SYD 11720H + 1,0 l/ha Additiv in Winterweizen (% visuelle Reduktion der Biomasse) - abschließende Bonitur.

Tab. 1 Weed control after post emergence application of 4,0 l/ha SYD 11720H + 1,0 l/ha additive in winter wheat, winter rye and winter triticale (% visual biomass reduction) - last evaluation.

Deutscher Name	Botanischer Name	Code	n	Mittelwert (%)	Streuung (Min.-Max.)
Fuchsschwanz, Acker-	<i>Alopecurus myosuroides</i>	ALOMY	35	93,6	71-100
Windhalm, Gemeiner	<i>Apera spica-venti</i>	APESV	8	97,8	85-100
Rispengras, Einjähriges	<i>Poa annua</i>	POAAN	4	95,8	90-100
Weidelgras, Welsches	<i>Lolium multiflorum</i>	LOLMU	3	99	96-100
Weidelgras, Deutsches	<i>Lolium perenne</i>	LOLPE	2	98,5	97-100
Trespe, Taube	<i>Bromus sterilis</i>	BROST	3	93,3	85-98
Trespe, Roggen-	<i>Bromus secalinus</i>	BROSE	2	97	95-99
Hundskamille, Acker-	<i>Anthemis arvensis</i>	ANTAR	2	99	98-100
Frauenmantel, Gemeiner	<i>Aphanes arvensis</i>	APHAR	1	98	
Raps, Ausfall-	<i>Brassica napus</i>	BRSNM	11	98,5	95-100
Hirtentäschel-, Kraut	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	3	95,9	88-100
Kornblume	<i>Centaurea cyanus</i>	CENCY	3	78,3	55-100
Besenrauke, Gewöhnliche	<i>Descurainia sophia</i>	DESSO	3	97	95-99
Erdrauch, Gewöhnlicher	<i>Fumaria officinalis</i>	FUMOF	1	100	
Labkraut, Kletten-	<i>Galium aparine</i>	GALAP	13	88	72-100
Storchschnabel, Schlitzblättriger	<i>Geranium dissectum</i>	GERDI	2	91,5	88-95
Storchschnabel, Weicher	<i>Geranium molle</i>	GERMO	3	95	90-100
Storchschnabel, Kleiner	<i>Geranium pusillum</i>	GERPU	1	100	
Kamille, Echte	<i>Matricaria chamomilla</i>	MATCH	9	94	75-100
Kamille, Geruchlose	<i>Matricaria inodora</i>	MATIN	3	95	87-100
Vergißmeinnicht, Acker-	<i>Myosotis arvensis</i>	MYOAR	4	98	95-100
Taubnessel, Rote	<i>Lamium purpureum</i>	LAMPU	3	100	
Taubnessel, Stängelumfassende	<i>Lamium amplexicaule</i>	LAMAM	2	98,5	97-100
Mohn, Klatsch-	<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	3	68,3	50-94
Sternmiere, Vogel-	<i>Stellaria media</i>	STEME	5	98	90-100
Senf, Acker-	<i>Sinapis arvensis</i>	SINAR	7	95	90 - 100
Hellerkraut, Acker-	<i>Thlaspi arvense</i>	THLAR	2	98	97-99
Rauke, Weg-	<i>Sisymbrium officinale</i>	SSYOF	2	98,5	97-100
Ehrenpreis, Efeublättriger	<i>Veronica hederifolia</i>	VERHE	5	96,4	92-100
Ehrenpreis, Feld-	<i>Veronica arvensis</i>	VERAR	4	100,0	
Stiefmütterchen, Acker-	<i>Viola arvensis</i>	VIOAR	13	89,2	80-100

(n) = Anzahl Versuche

Bei dieser Form der Auswertung zeigt sich, dass SYD 11720H nur geringen Wirkungsschwankungen bei unterschiedlichen Temperaturen unterliegt und im Durchschnitt aller Versuche konstant gute Bekämpfungserfolge gegen Ackerfuchsschwanz und gemeinen Windhalm erzielt werden. Die Erfahrungen zeigen aber auch, dass nach der Anwendung noch ein aktiver Stoffwechsel gegeben sein muss damit die Wirkstoffe aufgenommen, verlagert und ihre volle Wirkung erzielen können.

Tab. 2 Biologische Wirkung (% Reduktion Biomasse) von 4,0 l/ha SYD 11720H + 1,0 l/ha Additiv gegen Ackerfuchsschwanz und Windhalm bei Herbstanwendung in Abhängigkeit der Temperatur bei Anwendung - Deutschland 2010/11 - 2012/13 - abschließende Bonitur.

Tab. 2 Efficacy (% biomass reduction) of 4,0 l/ha SYD 11720H + 1,0 l/ha additive autumn application against *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* in relation to temperature at application - Germany (2010/11-2012/13) - last assessments.

	Temperatur bei Anwendung		
	weniger als 7 °C	8 - 15 °C	über 15 °C
Anwendungen gegen Ackerfuchsschwanz			
Mittelwert (n)	91,1 (7)	94,8 (18)	98,1 (9)
Streuung der Versuche	72-100 %	80 - 100 %	91 - 99 %
Anwendungen gegen Windhalm			
Mittelwert (n)	99,7 (3)	96,8 (5)	99,2 (3)
Streuung der Versuche	99-100 %	84 - 100 %	97 - 100 %

(n) = Anzahl Versuche

Tab. 3 Biologische Wirkung (% Reduktion Biomasse) von 4,0 l/ha SYD 11720H + 1,0 l/ha Additiv gegen Ackerfuchsschwanz und Windhalm bei Herbstanwendung in Abhängigkeit der Bodenfeuchte bei Anwendung - Deutschland 2010/11 - 2012/13 - abschließende Bonitur.

Tab. 3 Efficacy (% biomass reduction) of 4,0 l/ha SYD 11720H + 1,0 l/ha additive autumn application against *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* in relation to soil moisture at application - Germany (2010/11-2012/13) - last assessments.

	Bodenbedingung bei Anwendung		
	trocken	feucht	Sehr feucht
Anwendungen gegen Ackerfuchsschwanz			
Mittelwert (n) Streuung der Versuche	98,9 (16)	92,9 (12)	87,8 (6)
	91-100 %	80 - 99 %	72 - 98 %
Anwendungen gegen Windhalm			
Mittelwert (n) Streuung der Versuche	100 (1)	97,2 (6)	100 (1)
		84 - 100 %	

(n) = Anzahl Versuche

In einer weiteren Auswertung wurde dem Einfluss der Bodenfeuchte bei Applikation auf die herbizide Wirkung von SYD 11720H nachgegangen (Tab. 3). Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei trockenen Bodenbedingungen sehr gute Wirkungsgrade erzielt werden, was auf den chemisch-physikalischen Eigenschaften der Wirkstoffe beruht. Die etwas größere Streuung der Ergebnisse unter feuchten und sehr feuchten Bedingungen ist auf kalte Temperaturen einerseits und der Tatsache, dass der Ackerfuchsschwanz zum Zeitpunkt der Anwendung noch nicht vollständig aufgelaufen war andererseits zurückzuführen.

Einfluss vom Ungrasentwicklungsstadium auf die Wirkung

Am Beispiel Ackerfuchsschwanz kann zudem gezeigt werden, dass unabhängig von den Entwicklungsstadien bei der Anwendung gute Bekämpfungserfolge erzielt werden (Tab. 4).

Gleichzeitig wird aber anhand der durchschnittlichen Wirkungsgrade und der Streuung der Ergebnisse ersichtlich, dass die besten Ergebnisse ab dem 1-Blattstadium des Ackerfuchsschwanzes erzielt werden. Nur ab diesem Entwicklungsstadium können die Boden- und Blattaktivität voll zur Geltung kommen.

Tab. 4 Biologische Wirkung (% Reduktion Biomasse) von 4,0 l/ha SYD 11720H + 1,0 l/ha Additiv gegen sensitiven Ackerfuchsschwanz bei Herbstanwendung in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums bei Anwendung - Deutschland 2010/11 - 2012/13 -abschließende Bonitur.

Tab. 4 Efficacy (% biomass reduction) of 4,0 l/ha SYD 11720H + 1,0 l/ha additive against sensitive biotypes of *Alopecurus myosuroides* in autumn application in relation to growth stage at application - Germany (2010/11-2012/13) - last assessments.

	Entwicklungsstadium Ackerfuchsschwanz bei Anwendung			
	< BBCH 10	BBCH 10-11	BBCH 11-12	> BBCH 12
Mittelwert (n)	92,5 (6)	94,5 (6)	94,7 (12)	97,0 (10)
Streuung der Versuche	80-98 %	85 - 100 %	72 - 100 %	88 - 100 %

(n) = Anzahl Versuche

Bekämpfung von resistentem Ackerfuchsschwanz

Die Beachtung und Durchführung von ackerbaulichen Maßnahmen ist neben einem optimalen Herbizidmanagement ein sehr wichtiger Bestandteil zur Verhinderung und Verzögerung von Ungrasresistenzen. Während ein Anti-Resistenz Management bei Windhalm durch den konsequenten Wechsel mit Produkten mit unterschiedlichen Wirkmechanismen innerhalb der Fruchtfolge einfacher zu handhaben ist, stellt sich dies beim Ackerfuchsschwanz sehr viel schwieriger dar. Hier gilt es über Spritzfolgen, beginnend mit frühen Behandlungen im Herbst, die Basis zur Bekämpfung des resistenten Ackerfuchsschwanzes zu schaffen. Dies wurde mit SYD 11720H gegen resistenten Ackerfuchsschwanz an 8 Standorten in Feldversuchen in Winterweizen geprüft. Als Versuchsflächen wurden Standorte gewählt, deren Populationen bereits Resistenzen gegenüber Vertretern der Wirkstoffgruppen Klassifizierung HRAC A und / oder B ausgebildet haben. Die standortspezifischen Daten sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die vorliegenden Ergebnisse demonstrieren, dass SYD 11720H schon nach Einmalbehandlung im Herbst sehr hohe Wirkungsgrade erreicht, welche der Standardkombination auf Basis von Flufenacet überlegen ist. Die Vorzüglichkeit von SYD 11720H gegenüber der flufencet-haltigen Standardkombination zeigt sich besonders bei der Bonitur zur T3, wo mit ca. 85 % Wirkungsgrad deutlich weniger Ackerfuchsschwänze zur Frühjahrsspritzung überbleiben. Eine Folgespritzung (T2) mit Traxos konnte den Wirkungsgrad zur Frühjahrsspritzung auf ca. 95 % erhöhen. Durch die Applikation von SYD 11720H im Herbst gefolgt von mit einem Produkt auf Basis von Mesosulfuron/Iodosulfuron Frühjahr, konnte ein hoher Wirkungsgrad von über 94 % erreicht werden, welcher wiederum höher war als die Herbstmaßnahme auf Basis von Flufenacet. Durch die Integration von einer zusätzlichen Applikation von Traxos in die Spritzfolge konnte der beste Bekämpfungserfolg von über 97 % erreicht werden.

Tab. 5 Standort- und Anwendungsbeschreibung der Versuche zum Aufbau von Antiresistenzstrategien gegen resistenten Ackerfuchsschwanz - Deutschland 2012/13.

Tab. 5 Locations and use description of trials for anti-resistance strategies against resistant *Alopecurus myosuroides* - Germany 2012/13.

Standort Bundesland	Saatzeit	Anwendungsdatum			ALOMY- Ähren / m ² in unbehandelt Abschluss- bonitur in 2013	Resistenz gegen HRAC Gruppe
		BBCH Winterweizen BBCH Ackerfuchsschwanz (ALOMY)				
		T1	T2	T3		
Riepsdorf (Schleswig- Holstein)	01.10.12	16.10.12	22.11.12	15.04.13	677	A
		09-10	13-21	25-27		
		09-11	10-13	23-29		
Stade (Niedersachsen)	01.10.12	19.10.12	23.11.12	19.04.13	1167	A, B
		09-10	11-13	21-25		
		09-10	10-13	17-30		
Glasin (Mecklenburg- Vorpommern)	20.09.12	15.10.12	26.10.12	18.4.13	591	A
		11-12	13	29-30		
		09-10	10-11	25-31		
Harmshagen (Mecklenburg- Vorpommern)	01.10.12	15.10.12	20.11.12	17.04.13	450	A
		10-11	12-21	24-28		
		10-11	11-21	24-27		
Niederwiesen (Rheinland- Pfalz)	30.09.12	22.10.12	19.11.12	15.4.13	348	A
		10-12	13-22	23-29		
		07-11	11-21	23-29		
Hameln (Niedersachsen)	24.09.12	09.10.12	19.11.12	24.04.13	523	A
		10-11	21-22	29-30		
		09-10	10-22	21-30		
Veinau (Baden- Württemberg)	05.10.12	15.11.12	19.12.12	19.04.12	496	A
		12	14-21	24		
		11	11-12	14-21		
Hernwinden (Bayern)	03.10.10	10.10.12	20.11.12	19.04.13	1300	A
		09-11	12-15	27-30		
		10-11	11-12	21-27		

T1, T2, T3 = unterschiedliche Anwendungstermine

Neben den Untersuchungen im Feld wird SYD 11720H seit 2011 in einem Ackerfuchsschwanzmonitoring im Gewächshaus geprüft. Die Proben stammen von landwirtschaftlichen Flächen und sind Resistenzverdachtsproben auf Wirkstoffe, die der HRAC Gruppe A zugeordnet sind. Als deren Vertreter wird Axial in den Studien herangezogen. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 7 nach Anzahl Biotypen in Wirkungsbereiche mit den dazugehörigen Sensitivitätsklassen nach CLARKE *et al.* (1994) zusammengestellt.

Bei den bisher 179 getesteten Biotypen zeigt SYD 11720H insgesamt eine sehr gute Wirksamkeit, was anhand der Anzahl sensibler Proben (Sensitivitätsklasse: S) zum Ausdruck kommt. Nur einzelne Biotypen zeigen eine geringe Sensitivität gegenüber SYD 11720H, wobei gleichzeitig auch das Produkt aus der HRAC Klassifizierung "B" eine reduzierte Wirksamkeit bei den Biotypen zeigt (PETERSEN und ROSENHAUER, 2011; PETERSEN und ROSENHAUER, 2012).

Tab. 6 Biologische Wirkung (% Reduktion Biomasse) von SYD 11720H in unterschiedlichen Spritzfolgen gegen resistenten Ackerfuchsschwanz als Baustein von Antiresistenzstrategien - Deutschland 2012/13, 8 Standorte.

Tab. 6 Efficacy (% biomass reduction) of SYD 11720H in divers spray sequences against resistant biotypes of *Alopecurus myosuroides* for an anti- resistance tool - Germany 2012/13; 8 locations.

Produkt	Aufwandmenge (l-kg / ha)	Anwendung			Mittelwert (Min.-Max.) in %		
		T1	T2	T3	Bonitur zum Zeitpunkt der Anwendung		
					T2	T3	Abschluss
SYD 11720H+ Adigor	4,0+1,0	X			64,0 (20-86)	84,9 (50-97)	81,2 (35-96)
VMi 1+ Boxer	0,5+2,5	X			57,9 (15-77)	69,0 (40-99)	58,6 (0-93)
SYD 11720H+ Adigor	4,0+1,0	X				94,1 (85-98)	99,2 (97-100)
Traxos	1,2		X				
VMi 2+FHS	0,5+1,0			X			
VMi 1+ Boxer	0,5+2,5	X				85,6 (43-99)	99,1 (95-100)
Traxos	1,2		X				
VMi 2+FHS	0,5+1,0			X			
SYD 11720H+ Adigor	4,0+1,0	X					96,2 (89-100)
VMi 2+FHS	0,5+1,0			X			
VMi 1+ Boxer	0,5+2,5	X					95,3 (80-100)
VMi 2+FHS	0,5+1,0			X			

VMi. 1 auf Basis Flufenacet/Diflufenican

VMi 2 auf Basis Mesosulfuron/Iodosulfuron

Tab. 7 Sensitivitätsklassen und deren Wirkungsbereiche (%) von SYD 11720H gegen unterschiedliche Ackerfuchsschwanz Biotypen, Gewächshausuntersuchungen - Deutschland -2011-2012.

Tab. 7 Classification of biotypes according to the herbicide efficacy (%) of SYD 11720H against various *Alopecurus myosuroides* biotypes - glasshouse tests - Germany -2011-2012.

Sensitivitätsklasse	5	1	2	3	4	5
Wirkungsbereiche	100-85 %	<85-70 %	<70-55 %	<55-40 %	<40- 25 %	<25 %
SYD 11720H (4,0 +1,0 l/ha)	146	19	9	2	1	2
VMi 2+FHS (0,5+1,0 l-kg/ha)	145	22	4	3	2	3
Axial (1,2 l/ha)	62	13	14	35	32	28

VMi 2 auf Basis Mesosulfuron/Iodosulfuron

Diskussion

Mit einer Aufwandmenge von 4,0 l/ha erfasst SYD 11720H im Nachauflauf Herbst alle bedeutsamen annuellen Ungräser sowie ein breites Spektrum einjähriger zweikeimblättriger Unkräuter. Durch die effiziente, frühe Bekämpfung kann die frühe Konkurrenz um Wasser oder Nährstoffe ausgeschaltet werden, so dass das volle Ertragspotential ausgeschöpft werden kann.

Aufgrund der in zahlreichen Feldversuchen nachgewiesenen guten Kulturverträglichkeit kann SYD 11720H in Winterweizen, Winterroggen und Wintertriticale ohne Sorteneinschränkung eingesetzt werden. Wie bei den meisten bodenaktiven Produkten im Herbst üblich, kann es aber unter ungünstigen Witterungsbedingungen oder bei Stresssituationen (z. B. Niederschläge, starke Tag-Nacht Temperaturschwankungen, niedrige Temperaturen, Staunässe.) in Einzelfällen zu vorübergehenden Wuchsverzögerungen oder Aufhellungen der Kulturpflanze kommen.

Gegenüber derzeitigen Lösungen zur Unkrautbekämpfung im Getreide besteht die wesentliche Neuerung von SYD11720H in der Kombination aus vorrangig bodenaktiven und blattaktiven Wirkstoffen. Dadurch ergibt sich im Vergleich zu derzeit bestehenden Bodenherbiziden bzw. Blattherbiziden ein längeres Anwendungsfenster bzw. eine frühere Anwendung. Aufgrund der chemisch-physikalischen Eigenschaften der Wirkstoffe, können gute Bekämpfungserfolge unabhängig von Witterungseinflüssen (Temperatur, Bodenfeuchte) erzielt werden. Die beiden Wirkstoffe ergänzen und verstärken sich gegenseitig in ihrem Wirkungsspektrum, so dass sich für den praktischen Einsatz eine größere Flexibilität in der Anwendung ergibt und der Landwirt mehr Möglichkeiten hat, günstige Bedingungen für eine Herbizidbehandlung im Herbst zu nutzen.

Die besten Wirkungsergebnisse werden mit Anwendungen ab dem 1-Blattstadium erzielt. Von Vorteil ist weiterhin, wenn die Ungräser bzw. Unkräuter sich im Auflaufen befinden oder bereits aufgelaufen sind. Wichtig dabei ist aber, dass nach der Anwendung noch ein aktiver Stoffwechsel gegeben sein muss damit die Wirkstoffe aufgenommen, verlagert und ihre volle Wirkung erzielen können.

Neben einer guten Ungras- und Unkrautkontrolle sollte auch die Vermeidung oder Verzögerung von Ungrasresistenzen in Betracht gezogen werden. Dies ist nur mit einem konsequenten Anti-Resistenz-Management möglich. Die Beachtung und Durchführung von ackerbaulichen Maßnahmen ist neben einem optimalen Herbizidmanagement ein sehr wichtiger Bestandteil zur Verhinderung und Verzögerung von Ungrasresistenzen. Durch die effektive Ungrasbekämpfung in der frühen Nachauflaufbehandlung im Herbst gewährleistet SYD 11720H nicht nur frühe Konkurrenzfreiheit der Kultur, sondern bietet zudem eine hervorragende Grundlage im Rahmen einer effektiven Spritzfolge zur Bekämpfung von resistentem Ackerfuchsschwanz. Im Vergleich zu Bodenherbiziden werden durch SYD 11720H höhere Wirkungsgrade schon im Herbst erreicht, so dass auf Extremstandorten Folgeprodukte geringere Ackerfuchsschwanzpopulation auszuschalten haben. Auch die zusätzliche Einbindung von Traxos kurz vor der Vegetationsruhe im Herbst leistet einen zusätzlichen Beitrag zur Bekämpfung von resistentem Ackerfuchsschwanz und sollte zur nachhaltigen Kontrolle in einer Spritzfolge in Betracht gezogen werden.

Die vorliegenden Ergebnisse aus dem mehrjährigen Ackerfuchsschwanz Resistenzmonitoring zeigen, dass bei den meisten Populationen eine hohe Sensitivität gegenüber SYD 11720H vorhanden ist, was unter heutigen Gesichtspunkten eine effektive Bekämpfung möglich macht. Aufgrund der weiter zunehmenden Ackerfuchsschwanz Resistenzproblematik wird SYD 11720H weiterhin in diesem Monitoring mitgeführt.

Literatur

- CLARKE, J.H., A.M. BLAIR und S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). *Aspects of Applied Biology* **37**, 181-188.
- PETERSEN, J. und M. ROSENHAUER, 2011: unveröffentlichter Versuchsbericht "Resistance monitoring of *Alopecurus Myosuroides*" Trial report 2011.
- PETERSEN, J. und M. ROSENHAUER, 2012: unveröffentlichter Versuchsbericht "Resistance monitoring of *Alopecurus Myosuroides*" Trial report 2012.

Advanced Formulation Technology and its benefits for Clomazone containing herbicides

Fortschrittliche Formulierungstechnologie und ihr Nutzen für Clomazone-haltige Herbizide

David Hennens^{1*}, Michel Sarazin², Victor Casaña-Giner³ and Miguel Gimeno³

¹FMC Agricultural Solutions, Boulevard de la Plaine 9/3, 1050 Brussels, Belgium

²FMC Agricultural Solutions, 614 rue Benoit Mulsant, 69400 Villefranche sur Saône, France

³GAT Microencapsulation AG, Gewerbezone 1, 2490 Ebenfurth, Austria

*Corresponding author, david.hennens@fmc.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.068

Abstract

Clomazone is an important compound for effective weed control in winter oilseed rape and spring crops as potatoes and vegetables. Both when applied solo and as a complementary partner to other active ingredients, clomazone offers good and reliable control on a range of key weed species and crop safety. Its unique mode of action brings valuable contribution to anti-resistance weed management strategies. Clomazone effects on susceptible weed species are the typical bleaching symptoms. FMC developed and patented a unique CS microencapsulation technology for clomazone formulations. This technology as used in Centium 36 CS maintains efficacy and crop safety and reduces the risk of potential damage to non-target plants. In addition FMC introduces two novel formulation platforms, Synchronized Technology (SYN^{TEC}) and Dual Active Matrix Technology (DAM^{TEC}). Synchronized Technology (SYN^{TEC}) means co-microencapsulation of multiple active ingredients and synchronized delivery to the target after application, hence making the different herbicides available at their optimal timing. Dual Active Matrix Technology (DAM^{TEC}) combines a microencapsulated active ingredient with a second active ingredient in granular form. Both proprietary technologies are specifically designed for co-formulated products and preserve the unique properties of the different active ingredients and all benefits from the CS microencapsulation system including control of volatility and high efficacy performance.

Keywords: Clomazone, dual active matrix, microencapsulation, performance, secondary drift control, synchronized delivery, technology platforms

Zusammenfassung

Clomazone ist ein wichtiger Wirkstoff für eine effektive Unkrautbekämpfung in Winterraps und Sommerkulturen wie Kartoffel und Feldgemüsearten. Sowohl bei alleiniger Anwendung wie auch als Partner anderer Wirkstoffe bietet Clomazone eine gute und sichere Bekämpfung wichtiger Unkrautarten bei guter Kulturverträglichkeit. Der besondere Wirkmechanismus liefert einen wesentlichen Beitrag zu Anti-Resistenzstrategien in der Unkrautbekämpfung. Der Effekt von Clomazone auf empfindliche Unkrautarten äußert sich in den typischen Entfärbungssymptomen (*bleaching*) an grünen Pflanzenteilen. Für Formulierungen, die als Wirkstoff Clomazone enthalten, hat FMC eine besondere CS Mikroverkapselungstechnologie entwickelt und patentieren lassen. Die Technologie, wie sie bei *Centium 36 CS* zur Anwendung kommt, unterstützt die Wirkung und Kultursicherheit und reduziert das Risiko eines potentiellen Schadens an Nicht-Zielpflanzen. Mit der *„Synchronized Technology (SYN^{TEC})“* und der *„Dual Active Matrix Technology (DAM^{TEC})“* begibt sich FMC auf zwei neuartige Ebenen in der Formulierungstechnologie. Unter der *„Synchronized Technology (SYN^{TEC})“* ist die gemeinsame Mikroverkapselung mehrerer Wirkstoffe und ihre aufeinander abgestimmte Lieferbarkeit nach Applikation zu verstehen, während bei der *Dual Active Matrix Technology (DAM^{TEC})* eine Mikroverkapselte Aktivsubstanz mit einem in Granulatform vorliegenden Wirkstoff kombiniert werden. Beide proprietären Technologien sind speziell für co-formulierte Produkte ausgelegt, um sowohl die speziellen Wirkeigenschaften der Einzelkomponenten als auch alle Vorteile der CS-Verkapselung zu erhalten wie etwa die induzierte Abdrift-Reduktion und die hohe Wirkleistung.

Stichwörter: Aufeinander abgestimmte Vorrätigkeit, Clomazone, *Dual Active Matrix* (duale active Matrix), induzierte Abdrift-Reduktion, Leistung, Mikroverkapselung, Technologie-Ebenen

Introduction

Since many years the systemic and selective herbicide clomazone is used to control broad-leaved and grass weeds in a range of important agricultural crops such as oilseed rape, potato and

vegetables. Applied in pre-emergence of the crops with its unique mode of action (HRAC classification F4 – Inhibition of DOXP Synthase; FERHATOGLU and BARRETT, 2005) Clomazone is uptaken by the roots and shoots of the emerging weeds and subsequently acropetal translocation it interferes with the production and protection of the photosynthetic pigments and this results in the typical whitening or bleaching symptoms of the target weeds before they die off. Clomazone is an important corner stone in the farmers weed control programs due to its efficacy on difficult to control weeds such as cruciferous and *Polygonum* species. Hence it is an interesting partner for other pre-emergence herbicide compounds to provide broad spectrum weed control.

The active ingredient clomazone was introduced in Europe in 1991 as EC (emulsifiable concentrate) and WP (wetttable powder) formulated commercial products. When plant protection products (PPP's) are sprayed, drift to non-target sites is recognized as one of some potential undesirable side effects. Drift originates from primary (wind) drift and/or secondary drift (volatilisation). For clomazone containing products the symptoms are characterized by bleaching of susceptible non-target plants such as *Stellaria media*. In most situations the reasons for drift are applicator related (FISHEL and FERREL, 2013). In 2001 Centium 36 CS (registration number 004798-00) obtains its first registration in Germany. Centium 36 CS is a proprietary microencapsulation technology that is specifically designed to reduce the secondary off-target movement potential of the active ingredient Clomazone. Various levels of evaluation; including but not limited to laboratory, greenhouse and field environment; are imbedded within the microencapsulation development and quality validation process to confirm the performance standards for both efficacy, target crop safety and secondary drift control.

Two upcoming microencapsulation based technologies have been developed to provide multiple active ingredient broad spectrum herbicide mixtures that are attractive for practical use, whereby clomazone is one of the ingredients. Essential compared to common tank mixtures is that due to the unique combinations and the optimal balanced amount of active ingredients, the individual formulated products lead to very high efficacy against a wide range of weeds, have very good selectivity in targeted registered crops and provide desired secondary drift control.

SYNC^{TEC} or Synchronized Delivery to Target technology is a state-of-the art proprietary technology in the form of a co-microencapsulation (CS) that delivers two or more active ingredients at the optimal timing. This water-based innovative formulation technology contains specifically designed amounts of the composite active ingredients and secures the herbicidal properties for each of them. The effect of the co-microencapsulation is characterized by a synchronized availability of the individual active ingredients after spraying to the soil surface in order to bring the expected high level performance for weed control and target crop safety. Complementary the SYNC^{TEC} platform provides the desired reduction of secondary off-target movement potential for clomazone active ingredient that meets the Centium 36 CS formulation development standard.

DAM^{TEC} or Dual Active Matrix technology represents a breakthrough patented formulation technology that combines clomazone in a micro-encapsulated form with a second active ingredient in a convenient to use granular formulation. The porous granules represent an optimized delivery system of the considered active ingredients until the moment of application under field conditions. The result in the field is the expected immediate and residual weed control with the excellent control of secondary off-target movement for clomazone.

The desired features for the formulation candidates are tested and evaluated in under different environmental conditions that are representative for the post-sowing pre-emergence weed control in both spring and autumn field conditions.

Material and Methods

Field experiments to demonstrate importance of microencapsulation quality

Based on the EPPG guideline PP 1/256(1), Ganzelmeier investigations on spray drift (GANZELMEIER *et al.*, 1995) and according to the revised tables of new basic drift values (RAUTMANN *et al.*, 2001) one

small plot replicated field trial was executed in spring 2013 in Vregny, France, to evaluate the potential of non-target plant damage following spray or wind drift. The experiment was carried out under a randomized complete block (RCB) design with 2 replicates and individual plot size of 6m². Centium 36 CS based on proprietary microencapsulation technology, a non-FMC clomazone microencapsulated formulation and a non-microencapsulated clomazone formulation were directly sprayed on a sugar beet crop (cultivar: Julietta) at growth stage BBCH12 at dose rates equivalent to the drift values calculated according to Ganzelmeier and related to distances of 1, 3, 5, 10 and 15 metres on the basis of the spring label recommended dose rate (i.e. 1N or 90 g clomazone/ha) of Centium 36 CS. Additionally, the trial comprised an extra treatment for the 2N dose related to the distance of 1 metre. Within an interval from 2 days until 1 month after application several assessments on each experimental plot were carried out at regular intervals to determine the extend of phytotoxic responses on the sugar beet crop.

Furthermore in 2012 and 2013, both under spring and autumn agroclimatic conditions additional unreplicated experiments were conducted according to the 'field barrel' test methodology developed by FMC. Centium 36 CS and a non-FMC clomazone microencapsulated formulation were evaluated for their potential to reduce the off-target movement of Clomazone under German field conditions. The reference non-microencapsulated Clomazone formulation allows for relative comparison. All test formulations were applied to the soil at equivalent active ingredient rates on an area of 4 to 20m² representative for post-sowing pre-emergence weed control applications in spring grown crops and also in winter oilseed rape. Applications were made in alignment with farmer good agricultural practice recommendations and current German national label mitigation measures for clomazone containing herbicides. In addition wind screens were placed to exclude any risk for wind drift. Pots containing evenly germinated *Stellaria media* plants were placed at regular intervals of 0.5m from the treated area in the shape of a radius according to the different wind spokes. *Stellaria media* as indicator plant species were used due to its high susceptibility to low amounts of clomazone. At regular time intervals from application onwards assessments of the *Stellaria media* bleaching were made for each pot in each direction at any distance.

Field experiments to confirm efficacy, crop safety and secondary drift control with SYNC^{TEC} and DAM^{TEC}

A global multi-year data set from 2009 to 2012 with trials spread over Europe and conducted in maritime, mediterranean, north-eastern and south-eastern EPPO climatic zone is used to evaluate both state-of-the-art technologies SYNC^{TEC} and DAM^{TEC} for their efficacy and target crop safety under different representative field conditions. Replicated small plot field trials were laid out in randomized complete block design with 3-4 replicates per treatment and were executed according to the relevant EPPO guidelines (PP 1/135, 1/152, 1/049, 1/050, 1/051, 1/051, 1/053, 1/091 and 1/099). Experiments were located in fields of different commercial grown target crops with natural weed infestations covering winter oilseed rape, potato, peas, field beans, carrots, maize and soybeans and located in representative growing areas. Each time a single application was carried out in pre-emergence of crop and weeds. To assess efficacy and crop safety for DAM^{TEC} 94 trials; 22 in 2009, 15 in 2010, 30 in 2011, 27 in 2012; and for SYNC^{TEC} 225 trials whereby 51 in 2009, 37 in 2010, 61 in 2011 and 76 in 2012; were included in the analysis. Weed control and crop safety assessments were rated in percentage (scale 0-100) compared to the untreated control plots. The experimental products were applied at the 1N target rates. Corresponding rate-for-rate tank mixtures with Centium 36 CS were included in the treatment list as reference products.

To test the potential of the SYNC^{TEC} and DAM^{TEC} technologies to reduce the secondary off-target movement of clomazone, in autumn 2012 two unreplicated field experiments following the earlier described 'field barrel' test methodology were organized in Germany under conditions representative for post-sowing pre-emergence herbicide applications in winter oilseed rape.

Results

Field experiments to demonstrate importance of microencapsulation quality

The simulation of spray drift (*Ganzelmeier* drift values) after a pre-emergence application with respectively Centium 36 CS, a non-FMC microencapsulated CS formulation and non-microencapsulated reference product, respectively, at spring label recommended rate (i.e. 90 g clomazone/Ha) demonstrate differences in undesired phytotoxic effect on adjacent growing non-target plant species generated by equivalent rates of Clomazone active ingredient at identical distances from site of application (Fig. 1).

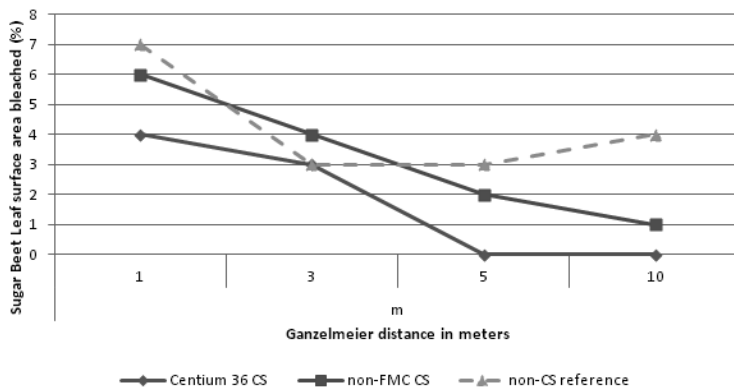


Fig. 1 Primary drift damage sugar beet – percentage (%) leaf bleaching with distance from treated area (10 days after application, Sugar beet (Bayer code: BEAVA, BBCH 14-16).

Abb. 1 Primärschaden durch Abdrift an Zuckerrübe – Prozent (%) Blattentfärbung mit Abstand zur behandelten Fläche (10 Tage nach Applikation, Zuckerrübe (Bayer code: BEAVA, BBCH 14-16).

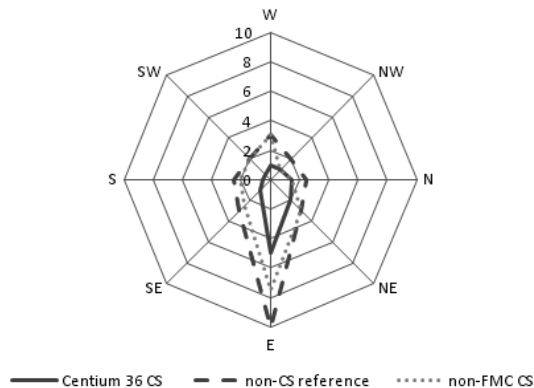


Fig. 2 Area (0-25 m) of clomazone leaf bleaching effect on *Stellaria media* indicator plant species between Centium 36 CS, non-FMC CS-formulation and non-CS standard (31 days after application).

Abb. 2 Vergleich der durch Clomazone hervorgerufenen Bleaching-Bereiche (0-25 m) an der Indikator-Pflanzenart *Stellaria media* nach Anwendung von Centium 36 CS vs. nicht-FMC-CS-Formulierung vs. nicht-CS-Standard (31 Tage nach Applikation).

In Figure 2 the maximum distance and surface area that can potentially be impacted by secondary drift or volatilization after a pre-emergence autumn application (Hönow-Brandenburg, 2012) highlights significant relative differences between tested formulations. Results are based on *Stellaria media* indicator species leaf bleaching assessed at regular distances from site of application up to 25 meters from the application area in the different wind directions. Compared to the non-microencapsulated reference product Centium 36 CS reduces the size of the impacted area with approximately 60% while for the non-FMC microencapsulation this is only 19% smaller. Hence under both spring and autumn agroclimatic conditions the average reduction of size of potential impacted area is 66% for Centium 36 CS and 35% for the non-FMC microencapsulated formulation.

Field experiments to confirm efficacy, crop safety and secondary drift control with SYNC^{TEC} and DAM^{TEC}

The efficacy of four different SYNC^{TEC} formulations, each characterized by a unique and balanced combination of two or more active ingredients including one is clomazone, that are developed to bring broad range weed control in a variation of target crops after a post-sowing pre-emergence application at the 1N target field rate, confirms to preserve the desirable herbicidal activity of the individual compounds (Tab. 1).

Tab. 1 Efficacy (%) SYNC^{TEC} versus common tank mixture at different intervals after application (DAA – days after application) when applied in post-sowing pre-emergence and variability (2009-2012).

Tab. 1 Vergleich der Wirksamkeit (%) von SYNC^{TEC} vs. herkömmlicher Tankmischung zu unterschiedlichen Terminen (DAA – Tage nach der Applikation) nach Voraufanwendung einschließlich der Schwankungsbreiten (2009-2012).

	SYNC ^{TEC}					Tank mixture				
DAA	28-42	56-84	84-112	112-168	> 168	28-42	56-84	84-112	112-168	> 168
Mean	80.16	83.13	73.3	78.66	87.38	81.1	83.79	73.21	77.86	90.96
Median	91	93.75	81.25	86.38	97	88.75	95	80.99	85.88	99.25
Stdev	25.24	24.09	28.33	23.72	22.8	23.72	23.24	27.35	23.65	18.96
Q25	72.5	76.88	59.13	66.84	85.36	75.63	77.5	58.22	65.04	92.79
Q75	98.25	99.5	96.75	97.5	100	98.25	99.75	96.38	97.79	100
N (trials)	118	123	60	31	53	118	123	60	31	53
N (weeds)	574	619	291	120	247	574	619	291	120	247
Student T-tests (p-value)	0.51	0.62	0.85	0.79	0.06					
Result comparison	=	=	=	=	=					

For the evaluation all findings are cumulated over all trials and assessed weed species (79 individual species) during defined assessment intervals that reflect short-, medium- and long-term control, in order to compare the total mean efficacy levels and dispersion of the SYNC^{TEC} technology with its corresponding common tank mixture including Centium 36 CS.

In Table 2 a comparison of the crop tolerance is shown for SYNC^{TEC} formulations and the common tank mixture. It is evident that after a single pre-emergence application at the 1N target rate the leaf bleaching as main effect is restricted to low levels, i.e. maximum average values of below 4%, transient (FMC AGRICULTURAL PRODUCTS GROUP, 2000) and within limits of grower's acceptance.

Comparable findings result for the SYNC^{TEC} engineered formulations and the common tank mixtures at rate-for-rate applications.

The efficacy generated during the development process of two different DAM^{TEC} formulations, each characterized by a unique and balanced combination of two active ingredients hence one is clomazone, to bring broad range weed control in a selection of target crops after a post-sowing pre-emergence application at the 1N target field rate, confirms to preserve the desirable herbicidal activity of the individual compounds (Tab. 3). For the evaluation all findings are cumulated over all trials and assessed weed species (53 individual species) during defined assessment intervals that reflect short-, medium- and long-term control, in order to compare the total mean efficacy levels and dispersion of the DAM^{TEC} technology with its corresponding common tank mixture.

Tab. 2 Crop safety (% bleaching) SYNC^{TEC} versus common tank mixture at different intervals after application (DAA – Days After Application) when applied in post-sowing pre-emergence and variability (2009-2012.)

Tab. 2 Vergleich der Kulturverträglichkeit (% Bleaching) von SYNC^{TEC} vs. herkömmlicher Tankmischung zu unterschiedlichen Terminen (DAA – Tage nach der Applikation) nach Voraufanwendung einschließlich der Schwankungsbreiten (2009-2012).

	SYNC ^{TEC}				Tank mixture			
DAA	14-22	28-42	55-72	84-112	14-22	28-42	55-72	84-112
Mean	3.61	1.52	0.68	0.08	3.26	1.9	0.76	0.08
Median	0	0	0	0	0	0	0	0
Stdev	10.0	4.2	2.1	0.53	9.1	5.8	2.4	0.53
Maximum	75.0	28.75	15	3.75	65	40	13.75	3.75
Q25	0	0	0	0	0	0	0	0
Q75	2.6	0.67	0	0	2.8	0.75	0	0
N (trials)	112	175	94	49	112	175	94	49
Student T-test (p-value)	0.67	0.39	0.7	1				
Result comparison	=	=	=	=				

Visual crop tolerance is shown for DAM^{TEC} formulations and the common tank mixture after a single pre-emergence application at the 1N target rate is evaluated for the leaf bleaching as main effect (Tab. 4). The overall crop reaction indicates high crop safety with maximum average values below 2% and typically any occurring symptoms are transient, this means disappearing shortly afterwards without any impact on crop development or yield.

A statistical test has been run to compare the SYNC^{TEC} and DAM^{TEC} technology with the corresponding tank mixture with Centium 36 CS, using the statistical software RStudio (Integrated development environment for R, version 097.247). To compare the means at each interval considered, the Student's T-test has been applied (95% confidence interval), given that more than 30 data points were used to build the means. Each time the results of the tests are given at the end of the table comparisons via the p-value and via the direction of the comparison ('=' means that averages are not statistically different, '<' means the average is inferior to the Tank mix, '>' means the average is superior to the Tank mix).

Tab. 3 Efficacy (%) DAM^{TEC} versus common tank mixture at different intervals after application (DAA – days after application) when applied in post-sowing pre-emergence and variability (2009-2012).

Tab. 3 Vergleich der Wirksamkeit (%) von DAM^{TEC} vs. herkömmlicher Tankmischung zu unterschiedlichen Terminen (DAA – Tage nach der Applikation) nach Voraufaufanwendung einschließlich der Schwankungsbreiten (2009-2012).

DAM ^{TEC}						Tank mixture				
DAA	28-42	56-84	84-112	112-168	> 168	28-42	56-84	84-112	112-168	> 168
Mean	87.72	90.89	77.54	75.25	100	86.58	89.03	74.21	75.87	100
Median	98.25	98	90	90		97.5	98.75	90.63	90	
Stdev	21.45	15.73	31.85	34.17		22.54	19.36	33.74	34.50	
Q25	84.45	87.5	73.6	65.07		83.61	86.88	55.63	54.16	
Q75	100	100	98.97	99		100	100	99	99.88	
N (trials)	60	51	24	10	1	60	51	24	10	1
N (weeds)	295	303	118	55	6	295	303	118	55	6
Student T-test (p-value)	0.46	0.14	0.21	0.92	NA					
Result comparison	=	=	=	=						

Tab. 4 Crop safety (% bleaching) DAM^{TEC} versus common tank mixture at different intervals after application (DAA – days after application) when applied in post-sowing pre-emergence and variability (2009-2012).

Tab. 4 Vergleich der Kulturverträglichkeit (% Bleaching) von DAM^{TEC} vs. herkömmlicher Tankmischung zu unterschiedlichen Terminen (DAA – Tage nach der Applikation) nach Voraufaufanwendung einschließlich der Schwankungsbreiten (2009-2012).

DAM ^{TEC}					Tank mixture			
DAA	14-22	28-42	55-72	84-112	14-22	28-42	55-72	84-112
Mean	1.99	1.43	0.23	0	1.65	1.06	0.21	0
Median	0	0	0	0	0	0	0	0
Stdev	4.74	4.37	0.85	0	4.36	3.60	0.70	0
Maximum	21.25	25	5	0	18.75	25	3.33	0
Q25	0	0	0	0	0	0	0	0
Q75	0.25	0	0	0	0	0	0	0
N (trials)	34	61	40	20	34	61	40	20
Student T-test (p-value)	0.74	0.58	0.94	NA				
Result comparison	=	=	=					

Discussion

Current situation for plant protection products and active ingredients is challenging. On the one hand they are expected to solve the agronomic problems by long term activity with a minimum of

applications; on the other hand their potential impact on the environment is viewed with suspicion. Undesired damage to non-target areas and plant species is amongst them. Under these conditions formulation technology and its optimization is increasingly important. Clomazone is used since many years to control broad-leaved and grass weeds in a range of important agricultural crops such as oilseed rape, potato and vegetables and hence acts as an important pillar and in farmers weed control strategies. Drift to non-target sites is recognized as one of some potential undesirable side effects. Drift originates from primary (wind) drift and/or secondary drift (volatilisation). For Clomazone containing products the symptoms are characterized by bleaching of susceptible non-target plants. While valuable mitigation measures such as but not limited to drift reducing nozzles, appropriate driving speed and minimum spray water volumes; are available to the farmer to limit the potential of primary drift; to reduce the risk for secondary drift inherently related to the physical/chemical properties of the active ingredient, only formulation technology provides relief. Microencapsulated formulation technology (CS) can reduce the secondary off-target movement potential of the active ingredient clomazone. Centium 36 CS is a proprietary microencapsulation technology that is specifically designed to provide reliable control of clomazone off-target movement. Various evaluation levels; including but not limited to laboratory, greenhouse and field environment; are imbedded within the microencapsulation development and quality validation process to confirm the internal set performance standards. An individual field trial set-up in Vregny in France investigated the impact on crop safety after a direct application of different spray drift rates with Centium 36 CS, a non-FMC clomazone microencapsulated formulation and a non-microencapsulated clomazone formulation on a sugar beet crop at growth stage BBCH12, representing the non-target adjacent crop species. Spray drift rates were calculated according to GANZELMEIER *et al.* (1995). From the assessments it became apparent that equivalent rates of active ingredient result in different impact on the non-target crop, with Centium 36 CS provoking the lowest levels of crop reaction by means of leaf bleaching and most rapidly decreasing with distance from site of application. To assess the potential of SYNC^{TEC} and DAM^{TEC} technologies to reduce volatilization two individual field trials, located in Mulsum-Niedersachsen and Hönöw-Brandenburg, were laid down in 2012 under conditions representative for pre-emergence weed control strategies in winter oilseed rape in Germany. Compared to a non-microencapsulated formulation the maximum distance and surface area that can potentially be impacted by secondary drift is reduced through FMC proprietary microencapsulated formulations in average by 63% for the Centium 36 CS, 70% for the SYNC^{TEC} and 88% for DAM^{TEC} developments. Hence the risk and size of potential impacted area is significantly reduced. These field trials demonstrate significant better performance for FMC proprietary microencapsulation technology what can be translated into reduced risk of undesired damage to non-target plant species following normal farmers practice applications regardless the type of drift. By consequence the formulation development process encompasses now more than ever the balanced combination of optimized biological efficacy and crop safety with safe and convenient-to-use formulations.

From 2009 to 2012 for SYNC^{TEC} and DAM^{TEC}, respectively, 225 and 94 individual field trials including 79 and 53 different weed species were laid down spread across maritime, mediterranean, north-eastern and south-eastern EPP0 climatic zones in Europe to compare their efficacy for weed control and crop safety with common tank mixtures with Centium 36 CS when applied at the 1N target rate. A single pre-emergence application in a range of target crops with natural weed infestations covering winter oilseed rape, potato, peas, field beans, carrots, maize and soybeans, did confirm the statistical equivalence, by Student's T-test mean comparisons, how the technology retains the benefit of the activity of the active ingredients without any compromise on crop safety.

References

- FERHATOGLU, Y. and M. BARRETT, 2005: Studies of clomazone mode of action. *Pesticides Biochemistry and Physiology* 85, 7-14.
- FISHEL, F.M. and J. A. FERRELL, 2010/2013: Managing Pesticide Drift. UF/IFAS EDIS Document PI 232.
- FMC AGRICULTURAL PRODUCTS GROUP, 2000: Clomazone Product Profile.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

GANZELMEIER, H., D. RAUTMANN, R. SPANGENBERG, M. STRELOKE, M. HERMANN, H.-J. WENZELBURGER and H.-F. WALTER, 1995: Studies on the spray drift of plant protection products. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft* **305**.

RAUTMANN, D., M. STRELOKE and R. WINKLER, 2001: New basic drift values in the authorization procedure for plant protection products. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft* **383**, 133-141.

Clearfield®-Clentiga® und Clearfield® Kombi Pack erweitern die Herbizidpalette zur gezielten Unkrautbekämpfung in Winter- und Sommerraps

Clearfield®-Clentiga® and Clearfield® Kombi-Pack: Two new herbicides for targeted weed control in winter- and spring oilseed rape

Alfons Schönhammer* und Joachim Freitag

BASF SE, Agrarzentrum Limburgerhof, 67117 Limburgerhof, Germany

*Korrespondierender Autor, alfons.schoenhammer@basf.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.069

Zusammenfassung

Derzeit basiert das Clearfield®-Produktionssystem in Winterraps in Deutschland auf dem Herbizid Clearfield®-Vantiga®, einem Kombinationspräparat bestehend aus den Wirkstoffen Metazachlor, Quinmerac und Imazamox. Vertrieben wird es unter der Bezeichnung Clearfield-Vantiga D zusammen mit dem Adjuvant Dash® E.C.. Clearfield-Vantiga D wurde im Herbst 2012 eingeführt und hat sich inzwischen auf mehr als 10 000 ha stark verunkrauteten Flächen aufgrund des sehr breiten Wirkungsspektrums, der zuverlässigen Blatt- und Bodenwirkung und der hervorragenden Verträglichkeit in Clearfield-Rapshybriden bewährt. Obwohl der durch die Zulassung mögliche Anwendungszeitraum sehr lang ist (BBCH 10 – 18), wird es meistens relativ früh eingesetzt, d. h. sobald die Masse der bekämpfungsbedürftigen Unkräuter aufgelaufen ist. Durch diese frühe Terminierung erhält auch der Wirkstoff Metazachlor, der überwiegend über Kotyledonen, Hypokotyl und die Wurzeln der Unkräuter aufgenommen wird, günstige Wirkungsbedingungen.

Clearfield-Clentiga ist ein Suspensionskonzentrat (SC), bestehend aus 250 g/l Quinmerac und 12,5 g/l Imazamox. Die Aufwandmenge beträgt 1,0 l/ha + 1,0 l/ha des Adjuvants Dash E.C.. Die Zulassung ist beantragt für die Anwendung im Winterraps im Herbst (BBCH 10-18) und im Frühjahr (BBCH 30-50) sowie im Sommerraps (BBCH 10-18). Das wichtigste Anwendungsgebiet ist die Herbstanwendung in Winterraps, hierzu werden Ergebnisse vorgestellt. Voraussetzung für die Anwendung ist wie bei Clearfield-Vantiga D die Verwendung von Imazamox-toleranten Rapsorten (Clearfield-Sorten). Die Wirkstoffmengen pro Hektar von Quinmerac und Imazamox sind bei Clearfield-Clentiga und Clearfield-Vantiga D identisch, ebenso die Menge des verwendeten Adjuvants Dash E.C.. Clearfield Clentiga weist durch das Fehlen des Wirkstoffs Metazachlor im Vergleich zu Clearfield-Vantiga D ein etwas eingeschränktes Wirkungsspektrum und eine weniger nachhaltige Bodenwirkung auf, bietet aber eine höhere Flexibilität bei der Wahl des Anwendungstermins und von Kombinationen mit Blatt- und Boden-Herbiziden. Als sehr wirksam auch bei hohem Unkrautdruck und unter schwierigen Bodenverhältnissen haben sich Spritzfolgen bestehend aus Butisan Kombi (Metazachlor + Dimethenamid-P) im Vor- oder frühen Nachauflauf gefolgt von Clearfield-Clentiga erwiesen. Die Kombination dieser beiden Herbizide soll unter der Bezeichnung Clearfield-Kombi Pack vertrieben werden.

Stichwörter: Butisan Kombi, Clearfield, Clentiga, Imazamox, Produktionssystem, Sommerraps, Vantiga, Winterraps

Abstract

Currently, the Clearfield® Production System in winter oilseed rape in Germany is based on the herbicide Clearfield®-Vantiga®, a combination product consisting of the active ingredients metazachlor, quinmerac and imazamox, sold as Clearfield-Vantiga D together with the adjuvant Dash® E.C.. Clearfield-Vantiga D was introduced in autumn 2012 and has since proved superior performance on more than 10 000 ha of heavily weedy fields due to the very broad spectrum of activity, reliable foliar and soil activity and excellent crop safety in Clearfield oilseed rape hybrids. Although the authorized application period is very long (BBCH 10-18), it is mostly used relatively early, as soon as the majority of the important weeds is emerged. Metazachlor which is active mainly by cotyledon, hypocotyl and root uptake, is favoured by early applications.

Clearfield-Clentiga is a suspension concentrate (SC), consisting of 250 g/l quinmerac and 12.5 g/l imazamox. The application rate is 1.0 l/ha + 1.0 l/ha of the adjuvant Dash E.C.. Approval is sought for use in winter oilseed rape in autumn (BBCH 10-18) and spring (BBCH 30-50) and in spring oilseed rape (BBCH 10-18). Results are presented for the autumn application in winter oilseed rape. A prerequisite for the application of both Clearfield-Clentiga and Clearfield-Vantiga D is the use of imazamox tolerant oilseed rape (Clearfield varieties). The amounts of active ingredient per hectare of quinmerac and imazamox are identical in Clearfield-Clentiga and Clearfield-Vantiga D, as well as the amount of adjuvant Dash E.C.. Clearfield-Clentiga, as a consequence of the absence of metazachlor, compared to Clearfield-Vantiga D has a slightly more limited spectrum of activity

and a less pronounced soil activity, but provides greater flexibility in the choice of the application dates and of combinations with soil and foliar herbicides. Very effective, even at high weed pressure and in difficult soil conditions, are sequential applications of Butisan Kombi (metazachlor + dimethenamide-P) in pre- or early post-emergence followed by Clearfield-Clentiga. The combination of these two herbicides will be marketed under the name Clearfield Kombi Pack.

Keywords: Butisan Kombi, Clearfield, Clentiga, Imazamox, oilseed rape, production system, Vantiga

Einleitung

Das Clearfield-Produktionssystem in Winterraps wurde in Deutschland im Herbst 2012 eingeführt und bestand im Jahr 2013 aus fünf verschiedenen Imazamox-verträglichen Hybridsorten (Clearfield Sorten) von zwei Saatgutunternehmen und einem Imazamox-haltigen Herbizid (Clearfield-Vantiga D) von BASF SE. Obwohl sich die Anbaufläche von 2012 auf 2013 etwa verdreifachte, beschränken die Landwirte den Anbau in der Regel auf stark verunkrautete Flächen, auf denen mit herkömmlichen Herbiziden kein ausreichender Bekämpfungserfolg erzielt werden kann. Dafür hat sich Clearfield-Vantiga D sehr gut bewährt, da über die Kombination der drei Wirkstoffe Metazachlor, Quinmerac und Imazamox und dem Adjuvant Dash E.C. nahezu alle Unkräuter und Ungräser effizient und nachhaltig bekämpft werden. Die starke Blattwirkung von Imazamox, die zuverlässige Bodenwirkung von Metazachlor und das über Blatt und Boden wirksame Quinmerac bieten die Gewähr, dass sowohl aufgelaufene als auch nach der Anwendung keimende Unkräuter der meisten Arten sicher erfasst werden. Die Terminierung des Produktes ist wegen des langen zugelassenen Anwendungszeitraumes (BBCH 10-18) sehr flexibel und richtet sich nach denjenigen Unkräutern, gegen die keine Korrekturmöglichkeiten vorhanden sind, also im Wesentlichen gegen kreuzblütige Unkrautarten und Storchschnabel-Arten. Diese sollten zum Anwendungszeitpunkt weitgehend aufgelaufen sein, da hier die Blattwirkung von Imazamox entscheidend ist. Unter bestimmten Konstellationen können dann andere Arten, die im Wesentlichen auf Metazachlor sensitiv reagieren (Kamille-Arten, Acker-Fuchsschwanz) bereits zu groß geworden sein. Durch Zusätze oder eine Nachbehandlung mit den vorhandenen wirksamen Spezialpräparaten lässt sich dies problemlos korrigieren. Durch eine ‚Entkopplung‘ von Metazachlor und Imazamox ließen sich diese bei Bedarf zum jeweiligen Idealtermin platzieren.

Allerdings nimmt das Interesse am Clearfield-System auch für Flächen zu, die nicht unter derart massiven Unkrautproblemen leiden und für die ein hochwirksames Universalprodukt wie Clearfield-Vantiga nicht in jedem Falle erforderlich ist. Viele Landwirte interessieren sich für das Clearfield System wegen der überlegenen Kulturpflanzenverträglichkeit begründet sowohl auf dem vergleichsweise späten Anwendungstermin des Clearfield Herbizids als auch auf der Unempfindlichkeit der Clearfield Sorten gegenüber Rückständen von ALS Herbiziden im Boden oder Ausbringergeräten. Häufig stammen die höheren Ertragsleistungen im Clearfield-Produktionssystem nicht von der genetischen Überlegenheit der Sorten oder der besseren herbiziden Wirkung, sondern von der Vermeidung von Ertragsbeeinträchtigungen als Folge von Nachwirkungen von ALS Herbiziden aus der Vorfrucht oder Einträgen aus unvollständig gereinigten Spritzgeräten, die sich bei herkömmlichen Sorten oft negativ auswirken, gegen die die Clearfield Sorten aber tolerant sind.

Aus all diesen Gründen erschien es sinnvoll, ein vorwiegend blattaktives Clearfield Herbizid zu entwickeln, das sowohl alleine zum Einsatz kommen kann, um bei schwacher bis mittlerer Verunkrautung flexibel und gezielt reagieren zu können, als auch als Komponente von Spritzfolgen verwendet werden kann, die dann zum Einsatz kommen, wenn bei starkem und anhaltendem Auflaufen von Unkraut eine Nachbehandlung nach Vorlage von bodenbetonten Herbiziden notwendig wird.

Material und Methoden

Beschreibung der Herbizide

Clearfield-Clentiga ist ein Suspensionskonzentrat (SC) bestehend aus den Wirkstoffen Quinmerac (250 g/l) und Imazamox (12,5 g/l). Die Zulassung ist beantragt mit einer Aufwandmenge von 1,0 l/ha in Kombination mit 1,0 l/ha des Adjuvants Dash E.C.. Hinsichtlich der Wirkstoffmenge pro Hektar entspricht es Clearfield-Vantiga D ohne Metazachlor. Der geplante Clearfield Kombi Pack soll neben Clearfield-Clentiga und Dash E.C. als weitere Komponente Butisan Kombi enthalten, das sich aus Metazachlor und Dimethenamid-P zusammensetzt.

In Tabelle 1 sind einige produktbezogene Parameter von Clearfield-Clentiga, Clearfield-Vantiga D und Clearfield Kombi Pack vergleichend dargestellt.

Tab. 1 Die wichtigsten Parameter der Produkte Clearfield-Clentiga, Clearfield-Vantiga D und Clearfield Kombi Pack.

Tab. 1 Important parameters of the herbicides Clearfield-Clentiga, Clearfield-Vantiga D and Clearfield Kombi Pack.

Handelsname	Clearfield-Clentiga		Clearfield-Vantiga D		Clearfield Kombi Pack	
Wirkstoffe (g/l)	Imazamox	12,5	Imazamox	6,25	Imazamox	12,5
	Quinmerac	250	Quinmerac	125	Quinmerac	250
			Metazachlor	375	Metazachlor	200
					Dimethenamid-P	200
Aufwandmenge (l/ha)	1,0		2,0		1 + 2,5	
Wirkstoffmenge (g/ha)	Imazamox	12,5	Imazamox	12,5	Imazamox	12,5
	Quinmerac	250	Quinmerac	250	Quinmerac	250
			Metazachlor	750	Metazachlor	500
					Dimethenamid-P	500
Dash E.C. (l/ha)	1,0		1,0		1,0	
Kulturen (BBCH)	Winterraps	10-18	Winterraps	10-18	Winterraps	10-18
	Winterraps	30-50			Winterraps	30-50*
	Sommerraps	10-18	Sommerraps	10-18		

* Clearfield-Clentiga

Versuchsdurchführung und Standorte

In den Versuchsjahren 2011/12 und 2012/13 wurde die herbizide Wirksamkeit und Kulturpflanzen-Verträglichkeit von Clearfield-Clentiga und Clearfield Kombi Pack im Vergleich zu Clearfield-Vantiga D gemäß EPPO-Richtlinie No. 1/152 (Design and analysis of efficacy evaluation trials) unter gleichzeitiger Berücksichtigung der EPPO-Richtlinie PP 1/49(3) (Weeds in brassica oil crops) in Clearfield Winterraps-Hybridsorten geprüft. Die insgesamt 19 Versuche wurden in Deutschland (18 Versuche) und Österreich (1 Versuch) von Versuchstechnikern der BASF auf Praxisflächen durchgeführt. Alle Prüfstellen wiesen eine Zertifizierung nach GEP (Good Experimental Practice) auf. In 13 Versuchen in beiden Versuchsjahren wurden Clearfield-Clentiga und Clearfield-Vantiga D mit jeweils der vollen Aufwandmenge und dem Zusatz von 1,0 l/ha Dash E.C. zu zwei Anwendungsterminen in Nachauflauf (BBCH 12 und BBCH 14) von Winterraps und Butisan Kombi mit 2,0 l/ha im Versuchsjahr 2011/12 und mit 2,5 l/ha im Versuchsjahr 2012/13 im Voraufbau (BBCH 00-09) von Winterraps appliziert. Im Versuchsjahr 2012/13 wurden in 6 Versuchen Clearfield-Clentiga und Clearfield-Vantiga D mit jeweils der vollen Aufwandmenge und dem Zusatz von 1,0 l/ha Dash E.C. zu 6 verschiedenen Anwendungsterminen appliziert, wobei der erste Anwendungstermin das Keimblattstadium (BBCH 10) von Winterraps war und alle weiteren Termine jeweils eine Woche nach dem vorhergehenden Termin behandelt wurden. Der

Anwendungstermin von Butisan Kombi mit 2,5 l/ha als Komponente des Clearfield Kombi Packs lag bei allen Varianten im BBCH 10. Somit wurde Clearfield Kombi Pack zum ersten Termin als Tankmischung von Butisan Kombi + Clearfield-Clentiga (einschließlich Dash E.C.) ausgebracht, während zu den 5 Folgeterminen jeweils eine Spritzfolge aus Butisan Kombi im BBCH 10 und Clearfield-Clentiga in stetig zunehmenden Entwicklungsstadien von Raps zur Anwendung kam. Die Entwicklung des Raps verlief an den Standorten unterschiedlich, zu den jeweiligen Anwendungsterminen wurde folgende Stadien festgestellt: Keimblattstadium = BBCH 09-10, + 1 Woche = BBCH 10-12, + 2 Wochen = BBCH 11-14, + 3 Wochen = BBCH 12-15, + 4 Wochen = BBCH 13-17, + 5 Wochen = BBCH 15-18. In letztgenannter Versuchsserie wurde die Kulturpflanzen-Verträglichkeit zu jedem neuen Spritztermin im Herbst, d. h. in wöchentlichen Abständen, und abschließend nach Vegetationsbeginn im Frühjahr bonitiert, bei den anderen Versuchen wurden 3 Verträglichkeitsbonituren im Herbst und eine abschließende Bonitur im Frühjahr vorgenommen. Die herbizide Wirksamkeit wurde ebenfalls mehrfach bonitiert: Im Herbst jeweils 2 Wochen nach den verschiedenen Applikationsterminen und im Frühjahr einmal nach Vegetationsbeginn und abschließend im Knospens stadium von Raps. In der Ergebnisdarstellung der herbiziden Wirksamkeit wurde jeweils nur die letzte verfügbare Bonitur verwendet.

Ergebnisse

Kulturpflanzenverträglichkeit

In beiden Versuchsjahren, also in 13 Versuchen, lag die maximal festgestellt Symptomausprägung von 1,0 l/ha Clearfield-Clentiga + 1,0 l/ha Dash E.C. bei 0 % beziehungsweise sehr nahe an 0 % (Tab. 2). Somit erwies sich Clearfield-Clentiga noch verträglicher als Clearfield-Vantiga D, das sich mit einem Durchschnittswert von 1 % ebenfalls als hochselektives Produkt auszeichnete. Allerdings kam es im Herbst 2012 an einem der 13 Standorte aufgrund von starken Niederschlagsereignissen zu einer Symptomausprägung in Höhe von 8 %, die aber in dieser Größenordnung vom Raps gut verkraftet wurde und keine nachhaltige Schädigung verursachte. Von diesem Wasserüberschuss war am selben Standort im selben Jahr das im Voraufbau applizierte Butisan Kombi mit etwa 20 % Symptomausprägung in Form von Wuchsstauchungen wesentlich stärker betroffen. Aber auch diese Wachstumsbeeinträchtigung ging graduell zurück. Im Frühjahr wurden keinerlei Unterschiede zu den unbehandelten Parzellen mehr festgestellt.

Tab. 2 Ergebnisse der Pflanzenschaden-Bonituren von Clearfield-Clentiga, Clearfield-Vantiga D- und Clearfield Kombi Pack-Anwendungen zu den verschiedenen Anwendungsterminen in Wintereraps.

Tab. 2 Results of phytotoxicity evaluations of applications of Clearfield-Clentiga, Clearfield-Vantiga D and Clearfield Kombi Pack at different application timings in winter oilseed rape.

13 Versuche 2011/12 und 2012/13			Pflanzenschaden (%)							
Produkte	Menge l/ha	Termin BBCH-Stadium	Durchschnitt				Maximum			
			1.Bon.	2.Bon.	3.Bon.	4.Bon.	1.Bon.	2.Bon.	3.Bon.	4.Bon.
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	12	0	0	0	0	3	1	1	0
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	14	0	0	0	0	0	1	1	0
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0	12	1	0	0	0	8	3	3	0
Butisan Kombi	(2,0) 2,5*	VA								
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	12	5	4	2	0	21	16	5	0
Butisan Kombi	(2,0) 2,5*	VA								
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	14	4	3	2	0	20	13	6	0

* 2011/12: 2,0 l/ha, 2012/13: 2,5 l/ha

In der zweiten Versuchsserie ergab sich ein ähnliches Bild: An 5 der 6 Standorte traten überhaupt keine Schadsymptome auf, am selben Standort wie bei der eben dargestellten Versuchsserie kam es durch die starken Niederschlagsereignisse dagegen bei allen im Keimblattstadium von Raps durchgeführten Spritzungen zu Wachstumsbeeinträchtigungen (keine Ausdünnungen) von etwa 20 %, die den ganzen Herbst über auf einem Niveau von 15 % erhalten blieben und erst im

Frühjahr nicht mehr erkennbar waren. Dabei war es unerheblich, ob Clearfield Vantiga D, Butisan Kombi alleine oder die Tankmischung bzw. eine Spritzfolge von Butisan Kombi + Clearfield-Clentiga zur Anwendung kamen. Wurde die Applikation von Clearfield-Vantiga D dagegen eine Woche später durchgeführt, lag der Anfangsschaden mit 5 % schon in einem nicht mehr relevanten Bereich und alle Anwendungen die 2 Wochen oder später nach dem Keimblattstadium erfolgten, blieben vollständig symptomlos.

Tab. 3 Ergebnisse der Pflanzenschaden-Bonituren von Clearfield-Vantiga D- und Clearfield Kombi Pack-Anwendungen zu sechs verschiedenen Anwendungsterminen in Wintereraps.

Tab. 3 Results of phytotoxicity evaluations of applications of Clearfield-Vantiga D und Clearfield Kombi Pack at six different application timings in winter oilseed rape.

6 Versuche 2012/13			Pflanzenschaden (%)													
Produkte	Menge l/ha	Termin BBCH-Stadium	Durchschnitt							Maximum						
			1.Bon.	2.Bon.	3.Bon.	4.Bon.	5.Bon.	6.Bon.	7.Bon.	1.Bon.	2.Bon.	3.Bon.	4.Bon.	5.Bon.	6.Bon.	7.Bon.
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0	10	3	3	3	3	3	3	0	20	20	15	15	15	15	0
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0	+ 1 Woche	1	1	1	1	1	0	5	3	3	3	3	0	0	0
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0	+ 2 Wochen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0	+ 3 Wochen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0	+ 4 Wochen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0	+ 5 Wochen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Butisan Kombi	2,5	10														
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	10	3	3	3	3	3	3	0	20	20	17	17	17	17	0
Butisan Kombi	2,5	10														
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	+ 1 Woche	4	4	3	3	3	3	0	23	23	17	15	15	15	0
Butisan Kombi	2,5	10														
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	+ 2 Wochen	3	3	3	3	3	3	0	20	20	15	15	15	15	0
Butisan Kombi	2,5	10														
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	+ 3 Wochen	3	3	3	3	3	3	0	20	20	15	15	15	15	0
Butisan Kombi	2,5	10														
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	+ 4 Wochen	3	3	3	3	3	3	0	20	20	15	15	15	15	0
Butisan Kombi	2,5	10														
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	+ 5 Wochen	3	3	3	3	3	3	0	20	20	15	15	15	15	0

Herbizide Wirksamkeit

In Abhängigkeit vom Auflaufverhalten der Unkräuter und der spezifischen Wirksamkeit der eingesetzten Wirkstoffe unterschieden sich die Wirkungsgrade von Clearfield-Clentiga zwischen den beiden Anwendungsterminen (Tab. 4). So waren die Wirkungsgrade bei Weißem Gänsefuß, Storchschnabel-Arten und in geringerem Umfang auch bei Ehrenpreis-Arten und Klatsch-Mohn beim Einsatz im BBCH-Stadium 12 der Kultur am besten, während Ausfall-Gerste, Vogelmiere und Rote Taubnessel im BBCH-Stadium 14 besser bekämpft wurden. Unabhängig vom Applikationstermin wurden Besen-Rauke und Kletten-Labkraut stets zu 100 % erfasst, während bei Acker-Fuchsschwanz, Kamille-Arten und Acker-Stiefmütterchen zu keinem Termin ausreichende Wirkungen erzielt wurden.

Der Zusatznutzen von Metazachlor als Bestandteil in Clearfield-Vantiga D trat vor allem bei Acker-Fuchsschwanz, Kamille-Arten, Roter Taubnessel und Acker-Stiefmütterchen deutlich hervor. Insgesamt waren aber bei nahezu allen Unkrautarten die Wirkungsgrade von Clearfield-Vantiga D besser als von Clearfield-Clentiga. Bei allen vorhandenen Unkräutern mit Ausnahme von Ausfall-Gerste und Acker-Stiefmütterchen erzielte Clearfield-Vantiga D bei der Anwendung im BBCH 12 von Raps Wirkungsgrade zwischen 92 % und 100 %.

Noch höhere herbizide Leistungen ergaben sich bei Clearfield Kombi Pack, ausgebracht als Spritzfolgen bestehend aus Butisan Kombi im Voraufbau, gefolgt von Clearfield-Clentiga im BBCH 12 oder BBCH 14 der Kultur. Butisan Kombi im Voraufbau ohne Nachbehandlung wurde nur in einem Versuchsjahr geprüft. Das Produkt erzielte gegen Kamille-Arten, Rote Taubnessel, Acker-Ehrenpreis, Vogelmiere und Klatschmohn Wirkungsgrade von 97-100 % (Ergebnisse nicht dargestellt), bei den übrigen Unkräutern dagegen nur 40-93 %. Mit beiden Spritzfolgen wurde das gesamte Spektrum einjähriger mono- und dikotyler Unkräuter sehr gut erfasst. Selbst gegen

Acker-Stiefmütterchen wurden Wirkungsgrade von 85 % bzw. 82 % erreicht, was im Vergleich zu Clearfield-Vantiga D eine Verbesserung um 10 % darstellt. Noch ausgeprägter war mit etwa 95 % Wirkung der Wirkungsvorteil von Clearfield Kombi Pack bei Ausfall-Gerste.

Tab. 4 Ergebnisse der Wirksamkeits-Bonituren von Clearfield-Clentiga, Clearfield-Vantiga D- und Clearfield Kombi Pack-Anwendungen zu sechs verschiedenen Anwendungsterminen in Winterraps.

Tab. 4 Results of efficacy evaluations of applications of Clearfield-Clentiga, Clearfield-Vantiga D und Clearfield Kombi Pack at different application timings.

13 Versuche 2011/12 und 2012/13			Herbizide Wirkung (%)														
Produkte	Menge l/ha	Termin BBCH	Fuchsschwanz, Acker-	Gerste, Ausfall-	Gänsefuß, Weißer	Senf, Acker-	Hirtentäschel	Rauke, Besen-	Rauke, Weg-	Labkraut, Kletten-	Storchnabel-Arten	Kamille-Arten	Vogelmiere	Taubnessel, Rote	Ehrenpreis-Arten	Mohn, Klatsch-	Stiefmütterchen, Acker-
			n=1	n=1	n=3	n=2	n=6	n=2	n=3	n=4	n=3	n=5	n=5	n=2	n=4	n=2	n=5
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	12	27	65	99	93	95	100	89	100	83	58	84	63	99	97	47
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	14	40	92	79	67	92	100	90	100	71	54	94	83	94	93	46
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0	12	97	70	100	94	94	100	100	100	92	99	95	96	100	98	75
Butisan Kombi	(2,0) 2,5*	VA															
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	12	93	94	100	95	100	100	98	100	98	99	99	100	100	100	85
Butisan Kombi	(2,0) 2,5*	VA															
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	14	95	96	86	92	100	100	100	100	97	94	100	100	100	100	82

* 2011/12: 2,0 l/ha, 2012/13: 2,5 l/ha

Ein wesentlich längerer Anwendungszeitraum wurde in der Saison 2012/13 geprüft (Tab. 5). Dabei zeigte sich bei Clearfield-Vantiga D, dass für die meisten Unkräuter der optimale Anwendungstermin 1 Woche und 2 Wochen nach dem Keimblattstadium von Raps lag. Die Anwendungen im BBCH 10 waren ebenfalls sehr gut wirksam, allerdings bei Ausfall-Gerste und Storchnabel-Arten weniger gut, da diese von den überwiegend bodenwirksamen Wirkstoffen Metazachlor und Quinmerac kaum beeinträchtigt werden und Imazamox nur den bereits aufgelaufenen Teil der Population erfassen kann. Die Anwendungen ab 3 Wochen nach BBCH 10 zeigten fortschreitend abnehmende Wirkungsgrade bei den meisten Unkräutern. Lediglich die besonders gut von Imazamox und Quinmerac über das Blatt bekämpfbaren Unkräuter Ausfall-Raps, Besen-Rauke, Kletten-Labkraut, Rote Taubnessel und Klatsch-Mohn wurden bis zu 5 Wochen nach BBCH 10 sehr gut erfasst.

Die Tankmischung Butisan Kombi + Clearfield-Clentiga appliziert im BBCH 10 von Raps erzielte bei allen Unkräutern dieselben Wirkungsgrade wie Clearfield-Vantiga D, außer bei Storchnabel-Arten, wo sie wegen der starken Storchnabel-Leistung des Wirkstoffs Dimethenamid-P besser abschnitt. Auch zu den 1 und 2 Wochen späteren Anwendungsterminen differenzierte sich die Spritzfolge Clearfield-Clentiga nach Vorbehandlung mit Butisan Kombi noch nicht sehr stark von der Clearfield-Vantiga D-Anwendung, neben Storchnabel-Arten war die Spritzfolge auch bei Ausfall-Gerste, Hirtentäschel und Acker-Stiefmütterchen leistungsstärker. Ein Leistungsabfall von Clearfield-Vantiga D trat bei Applikationen ab 3 Wochen nach dem BBCH 10 vor allem bei den Unkräutern Acker-Fuchsschwanz, Einjähriges Rispengras, Ausfall-Gerste, Hirtentäschel, Storchnabel-Arten, Echte Kamille, Vogelmiere und Acker-Stiefmütterchen zutage, während sich die Clearfield-Clentiga-Anwendung 3 Wochen nach Vorbehandlung mit Butisan Kombi im BBCH 10 auf nahezu unverändert hohem Niveau hielt, lediglich die Ausfall-Gersten-Wirkung ließ zu diesem Termin nach. Dieses sehr hohe Wirkungsniveau von 90 % bis 100 % gegen alle Unkräuter außer Ausfall-Gerste und Acker-Stiefmütterchen blieb erhalten, selbst wenn die Anwendung von Clearfield-Clentiga erst 4 oder 5 Wochen nach der Vorbehandlung mit Butisan Kombi erfolgte. Lediglich die Wirkung gegen Storchnabel-Arten fiel zum letzten Anwendungstermin auf 88 % ab. Die Beschränkung der herbiziden Leistungsfähigkeit von Clearfield-Clentiga auf frühe

Entwicklungsstadien von Unkräutern, wie z. B. bei Storchschnabel-Arten und Weißem Gänsefuß bis BBCH 12 und bei einigen kreuzblütigen Unkräutern und Klatsch-Mohn bis BBCH 14, ist bei einer Vorbehandlung mit Butisan Kombi nicht mehr erkennbar, in den geprüften Spritzfolgen wurden durch das Zusammenwirken der Produkte auch größere Unkräuter erfolgreich bekämpft.

Tab. 5 Ergebnisse der Wirksamkeits-Bonituren von Clearfield-Vantiga D- und Clearfield Kombi Pack-Anwendungen zu sechs verschiedenen Anwendungsterminen in Winterraps.

Tab. 5 Results of efficacy evaluations of applications of Clearfield-Vantiga D and Clearfield Kombi Pack at six different application timings.

6 Versuche 2012/13			Herbizide Wirkung (%)																
Produkte	Menge l/ha	Termin BBCH	Fuchsschwanz, Acker-	Rispengras, Einjähriges	Gerste, Ausfall-	Raps, Ausfall-	Hellerkraut, Acker-	Hirtentäschel	Rauke, Besen-	Rauke, Weg-	Erdrauch, Gemeiner	Labkraut, Kletten-	Storchschnabel-Arten	Kamille, Echte	Vogelmiere	Taubnessel, Rote	Ehrenpreis-Arten	Mohn, Klatsch-	Stiefmütterchen, Acker-
			n=1	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1	n=2	n=1	n=3	n=2	n=3	n=1	n=2	n=1	n=3	
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0	10	97	100	60	93	50	100	100	99	90	100	85	100	98	100	100	100	76
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0 + 1 Woche		97	100	82	95	90	100	100	100	90	100	92	100	98	100	100	100	73
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0 + 2 Wochen		94	100	84	99	90	87	99	100	90	99	90	99	98	100	100	100	76
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0 + 3 Wochen		92	95	57	99	90	85	100	100	90	100	68	96	92	98	100	100	55
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0 + 4 Wochen		80	92	15	99	90	40	100	91	60	100	51	56	63	99	95	100	43
Vantiga + Dash E.C.	2,0 + 1,0 + 5 Wochen		75	90	13	100	30	37	99	72	30	100	32	48	73	98	80	100	44
Butisan Kombi	2,5	10																	
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0	10	95	100	63	94	50	100	99	99	90	99	90	100	97	99	100	100	71
Butisan Kombi	2,5	10																	
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0 + 1 Woche		98	100	90	96	90	97	98	99	90	99	97	100	97	100	100	100	81
Butisan Kombi	2,5	10																	
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0 + 2 Wochen		97	100	89	99	90	100	99	100	90	97	98	100	97	100	100	100	77
Butisan Kombi	2,5	10																	
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0 + 3 Wochen		95	100	77	100	90	98	99	99	90	98	99	100	97	100	100	100	75
Butisan Kombi	2,5	10																	
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0 + 4 Wochen		96	100	30	100	90	100	100	100	90	99	99	100	90	100	100	100	69
Butisan Kombi	2,5	10																	
Clentiga + Dash E.C.	1,0 + 1,0 + 5 Wochen		97	100	13	99	90	100	100	99	90	100	88	100	97	100	100	100	72

Diskussion

Vor der Einführung des Clearfield Produktionssystems im Winterraps zur Aussaat 2012 hatten Berater in Deutschland die Eignung von Clearfield-Vantiga D gegen eine aus vielen Arten bestehende Unkrautpopulation in Frage gestellt mit der Argumentation, dass der optimale Einsatzzeitpunkt gegen möglicherweise sehr früh auflaufende Metazachlor-sensitive Unkräuter wie Acker-Fuchsschwanz oder Kamille-Arten versäumt wird, wenn mit der Anwendung gewartet wird, bis die möglicherweise später auflaufenden Imazamox-sensitiven Unkräuter wie Kreuziferen-Arten oder Storchschnabel-Arten vollständig aufgelaufen sind. Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass Anwendungen von Clearfield-Vantiga D appliziert im Bereich BBCH 12 von Winterraps bzw. 1 bis 2 Wochen nach BBCH 10 ideal terminiert sind, um alle Metazachlor-, Quinmerac- und Imazamox-sensitive Unkräuter wirkungsvoll zu bekämpfen.

Um den Anforderungen des integrierten Pflanzenschutzes und der Guten Fachlichen Praxis gerecht zu werden, sollte sich die Anwendungsempfehlung aber nicht an einem bestimmten Entwicklungsstadium der Kultur oder einer bestimmten Anzahl von Tagen nach der Saat oder dem Auflaufen von Raps orientieren, sondern dann erfolgen, wenn die Behandlungsbedürftigkeit anhand des Auflaufens der Unkräuter festgestellt wurde. Angaben zur Terminierung von Clearfield-Vantiga D wie ‚2 bis 3 Wochen nach der Saat‘ oder ‚10 bis 20 Tage nach dem Auflaufen‘, oder ableitbar aus den hier vorliegenden Versuchsergebnissen, 1 bis 2 Wochen nach BBCH 10 der Kultur‘ sollen deshalb nur als Orientierung für den Anwender verstanden werden, in welchem Zeitraum er die Behandlungsbedürftigkeit der Kultur kontrollieren sollte und wann erfahrungsgemäß die besten Erfolge beim Einsatz von Clearfield-Vantiga D zu erwarten sind. In

anderen Kulturen wie Zuckerrüben, Mais und Getreide ist es inzwischen selbstverständlich, den Herbizideinsatz nicht nach Kalender, sondern nach Inaugenscheinnahme des Unkrautbesatzes unter Berücksichtigung der wirkungsbestimmenden Faktoren der geeigneten Herbizide zu terminieren. Im Raps waren bisher breit wirksame Herbizid nur im Voraufbau oder im sehr frühen Nachaufbau einsetzbar, eine gezielte Anwendung orientiert am Unkrautbesatz war nur ergänzend mit Spezialprodukten gegen ein eingeschränktes Wirkungsspektrum möglich. Mit Clearfield-Vantiga D, Clearfield-Clentiga und Clearfield Kombi Pack stehen jetzt drei Optionen zur Verfügung, um gegen unterschiedliche Verunkrautungssituationen zielgerichtet vorzugehen.

Da mit den Clearfield Herbiziden abgewartet werden kann, welche Verunkrautung sich wann auf den Rapsflächen einstellt, wird nicht in jedem Fall die umfassende Breitenwirkung des kombinierten Blatt- und Bodenherbizides Clearfield-Vantiga D erforderlich sein. Finden sich beispielsweise wegen anhaltend trocken-warmer Witterung keine Kamillen und spielt Acker-Fuchsschwanz keine Rolle, bietet Clearfield-Clentiga eine terminlich sehr flexible Möglichkeit der Beseitigung praktisch aller kreuzblütigen Unkräuter und Ausfallkulturen, Kletten-Labkraut, Ehrenpreis- und Taubnessel-Arten, Vogelmiere, Klatsch-Mohn, Erdrauch und doldenblütiger Unkräuter, um nur die wichtigsten zu nennen. Außerdem werden die im Herbst oft sehr konkurrenzstarken Sommerkeimer wie Gänsefuß-, Amarant-, Franzosenkraut- und Knöterich-Arten sowie Schwarzer Nachtschatten gut bekämpft, ebenso aufgelaufener Storchschnabel und Ausfallgetreide. Die vorgestellten Daten aus zwei Versuchsjahren zeigen bei den meisten Arten stabile Wirkungsgrade über einen längeren Anwendungszeitraum (BBCH 12-14). Wie bereits ausgeführt, sollte allerdings nicht das Kulturpflanzenstadium als Entscheidungskriterium dienen, sondern Größe und Entwicklungszustand der Unkräuter. Die im Rahmen der Zulassungsprüfung durchgeführten Versuche und deren Bewertung (hier nicht dargestellt) haben ergeben, dass Clearfield-Clentiga die Zielunkräuter weitgehend unabhängig vom Entwicklungsstadium von Raps am besten erfasst, wenn diese möglichst vollständig aufgelaufen sind und das 4-Blatt-Stadium noch nicht überschritten haben. Außerdem dürfen die Unkräuter zum Applikationszeitpunkt nicht durch die Kulturpflanzen abgedeckt werden. Unter diesen Voraussetzungen konnten über einen langen Einsatzzeitraum im Herbst (BBCH 10-18) und im Frühjahr (BBCH 30-50) gute Wirkungen erzielt werden. Deshalb wurde die Zulassung für diese Anwendungszeiträume beantragt.

Für Clearfield-Clentiga kann man sich grundsätzlich folgende Anwendungen vorstellen:

- A) Als einziges Produkt gegen zweikeimblättrige Unkräuter und Ausfallgetreide
- B) In Mischung mit Blattherbiziden gegen ein- und zweikeimblättrige Unkräuter
- C) In Mischung mit Bodenherbiziden
- D) In Spritzfolge mit Bodenherbiziden

Situation A) wäre bei insgesamt niedrigem Unkrautdruck oder bei sehr trockenem Boden vorstellbar, wenn Unkräuter nur sehr verzögert auflaufen. Oft bestimmen dann Sommerkeimer und kreuzblütige Arten die Unkrautpopulation. Bei Trockenheit steht häufig auch der Raps lückig und entfaltet sehr lange keine unkrautunterdrückende Wirkung. Meist wartet dann der Landwirt, manchmal bis ins Frühjahr, um erst dann über eine Investition in ein Herbizid zu entscheiden, wenn er sicher ist, dass die Kultur bis zur Ernte weitergeführt wird. Erfolgt die Anwendung nach dem Auflaufen und vor der Bestockung von Ausfallgetreide und anderen Ungräsern wie Trespe-Arten, werden diese von Clearfield-Clentiga ebenfalls bekämpft.

Situation B) kann mit einer vielfältigen Verunkrautung charakterisiert werden, bei der ebenfalls keine Bodenwirkung benötigt wird, da beispielsweise die Unkräuter recht gleichmäßig oder insgesamt spät auflaufen, der Standort nicht für mehrere Auflaufwellen prädestiniert ist und der Raps zügig wächst. Clearfield-Clentiga lässt sich sehr gut mit Clopyralid-haltigen Produkten und Graminiziden mischen, um in einer Überfahrt zusätzlich auch Kamille-Arten, Kornblume und Ungräser zu erfassen.

Situation C) ist die wohl häufigste Konstellation, für die auch Clearfield-Vantiga D geeignet ist, die durch früh und stark auflaufende Unkräuter bestimmt ist und bei der gleichzeitig insbesondere auf

sandigen, humusreichen und tonreichen Böden davon ausgegangen werden muss, dass mit dem Wechsel von feuchten und trockenen Phasen Unkräuter über einen längeren Zeitraum auflaufen. Wenn hierfür Clearfield-Clentiga früh eingesetzt wird, bietet sich die Kombination mit Bodenherbiziden mit breitem Wirkungsspektrum an. Der leistungsfähigste Mischungspartner ist Butisan Kombi, da mit der Kombination der Wirkstoffe Metazachlor + Dimethenamid-P sowohl hinsichtlich des Unkrautspektrums als auch der Wirkstoffverfügbarkeit bei trockenen wie feuchten Bodenverhältnissen eine hohe Wirkungssicherheit gegeben ist. Im Vergleich zu Clearfield-Vantiga D zeigte sich in den hier vorgestellten Versuchen bei gleichem Anwendungstermin eine vergleichbare Verträglichkeit und Wirksamkeit mit Ausnahme von Storchschnabel-Arten, die durch die Tankmischung Clearfield-Clentiga + Butisan Kombi etwas sicherer bekämpft wurden.

Der Grund für die Entscheidung, Clearfield-Clentiga und Butisan Kombi gemeinsam als Clearfield Kombi Pack zu vermarkten ist nur nachrangig in der Möglichkeit der Tankmischung begründet, da bei dieser Anwendung mit Clearfield-Vantiga D ein nahezu gleichwertiges Universalherbizid vorhanden ist. Der Vorteil des Clearfield Kombi Packs ist die flexible und bedarfsorientierte Verwendbarkeit seiner Komponenten als Spritzfolge (Situation D). Butisan Kombi kann aufbauend auf regionale und betriebliche Erfahrungen mit etablierten Butisan Kombi-haltigen Packs und Butisan Gold zum optimalsten Anwendungstermin im Voraufbau bis frühen Nachaufbau von Raps eingesetzt werden. Dadurch werden bereits viele Unkräuter und Ungräser nachhaltig eliminiert und diejenigen Arten, gegen die keine vollständige Wirkung erzielt wird, wie beispielsweise Ausfallgetreide und Weg-Rauke, sind für nachfolgende Anwendungen von Clearfield-Clentiga empfindlicher und wachsen verhaltener. Daraus folgt eine deutlich verbesserte Terminflexibilität von Clearfield-Clentiga. In den vorgestellten Versuchen erzielte Clearfield-Clentiga nach Vor-Sensibilisierung durch Butisan Kombi über 4-5 Wochen Wirkungsgrade, die mit Clearfield-Vantiga D maximal über einen Zeitraum von 2-3 Wochen zu erreichen waren. Somit kann beim sequentiellen Einsatz des Clearfield Kombi Packs noch mehr als bei Clearfield-Vantiga D das Auflaufen der letzten relevanten Unkräuter abgewartet bzw. sichergestellt werden, dass die Kultur optimale Entwicklungsvoraussetzungen aufweist, bevor dieses Herbizid zum Einsatz kommt. Ist die Unkrautkonkurrenz im Herbst nur gering ausgeprägt und sind die Unkräuter nicht zu groß, kann die Behandlung auch ins Frühjahr verlagert werden oder ganz entfallen, wenn kein behandlungsbedürftiger Besatz erreicht wird. Somit ist auch Clearfield Kombi Pack ein flexibles und wirkungsvolles Instrument des integrierten Herbizideinsatzes und zwar für die Fälle, in denen aufgrund einer hohen Unkrautsamenbank der vollständige Verzicht auf bodenwirksame Herbizide nicht ratsam ist, die Notwendigkeit von Folgemaßnahmen je nach jahresspezifischer Wüchsigkeit der Unkräuter aber gezielt angepasst werden kann.

Literatur

EPPO-GUIDELINE PP1/152: Design and analysis of efficacy evaluation trials (<http://pp1.eppo.int/list.php>).

EPPO-GUIDELINE PP1/49(3): Weeds in brassica oil crops (<http://pp1.eppo.int/list.php>).

Control of ALS resistant volunteer oil seed rape and other dicotyledonous weeds with GF-145, a new cereal herbicide product containing isoxaben and florasulam

Bekämpfung von ALS resistentem Ausfallraps und anderen dikotyledonen Unkräutern mit GF-145, einem neuen Getreideherbizid bestehend aus Isoxaben und Florasulam

Jörg Becker*, Marcin Dzikowski, Arndt Wittrock and Anke Tiede

Dow AgroSciences GmbH, Truderinger Str. 15, D-81677 München, Germany

*Corresponding author, becker1@dow.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.070

Abstract

GF-145 contains the active ingredients isoxaben (610 g ai/kg) and florasulam (40 g ai/kg) and is formulated as a Wettable Granule (WG). The active ingredients are found in commercial products such as Primus™² (florasulam), Starane XL™ (fluroxypyr + florasulam), Ariane C™ (fluroxypyr + florasulam + clopyralid) or Flexidor™ (isoxaben). While florasulam has been widely used in cereal crops in recent years, isoxaben offers a new mode of action (MOA) for use in German cereal herbicides even when considering that Flexidor™ has had regulatory approval in 1988 to 1991. The MOA of isoxaben is inhibition of cellulose synthesis (HRAC class L), while florasulam inhibits Acetolactate Synthase (ALS) and is a representative of the HRAC class B. It is known that florasulam works through uptake by green leaves. Isoxaben is a herbicide with soil activity and with a very low activity when foliar applied, except on some species in the cruciferae family. GF-145 is intended to be applied in the autumn in cereals (wheat, barley, rye, triticale) for the control of ALS resistant volunteer oil seed rape and annual dicotyledonous weeds including *Matricaria* spp., *Stellaria media*, *Papaver rhoeas*, *Capsella bursa-pastoris*, *Myosotis arvensis*, *Lamium* spp., *Galium aparine*, *Veronica* spp. and others when applied at early post-emergence from BBCH 10 to 13 of the crop. The use rate in winter cereals is 95 g product/ha (58 g ai/ha isoxaben plus 3.75 g ai/ha florasulam). Field trials conducted in previous years confirmed excellent selectivity in all cereal crops and efficacy trials initiated in autumn 2012 show that GF-145 provides excellent and superior control to ALS resistant oil seed rape that was better than straight florasulam and other ALS active ingredients. GF-145 adds a new MOA to the cereal herbicide portfolio and controls volunteer oil seed rape, cruciferous weeds and broad-leaved weeds and is more robust than florasulam based products that do not contain isoxaben.

Keywords: ALS resistant oil seed rape, dicotyledonous weeds, florasulam, isoxaben, volunteer rape, winter cereals

Zusammenfassung

GF-145 enthält die Wirkstoffe Isoxaben (610 g AS/kg) und Florasulam (40 g AS/kg) und ist als wasserdispergierbares Granulat (WG) formuliert. Die beiden Wirkstoffe sind bestens bekannt aus Produkten wie Primus™ (Florasulam), Starane XL™ (Florasulam + Fluroxypyr), Ariane C™ (Florasulam + Fluroxypyr + Clopyralid) oder Flexidor™ (Isoxaben). Während Florasulam in den vergangenen Jahren im Getreide häufig eingesetzt wurde, hat Isoxaben einen neuen Wirkungsmechanismus (MOA) im Getreide, auch wenn Isoxaben im Zeitraum 1988-1991 hier eine Zulassung hatte. Isoxaben wirkt dabei durch eine Hemmung der Zellulosebildung (HRAC Klasse L), während Florasulam als Vertreter der HRAC Klasse B die Acetolactatesynthase behindert. Die Aufnahme von Florasulam in die Pflanze erfolgt über die Blätter. Im Gegensatz dazu wird Isoxaben von den Wurzeln über den Boden aufgenommen und besitzt nahezu keine Blattaktivität, abgesehen bei einigen Arten aus der Familie der Kreuziferen. Die Anwendung von GF-145 erfolgt im Herbst im Getreide (Weizen, Gerste, Roggen, Triticale). Es werden ausgezeichnet Ausfallraps (BRSNW) einschließlich ALS-resistentem Ausfallraps, sowie dikotyle Unkräuter wie Kamillearten (*Matricaria* spp.), Vogel-Sternmiere (*Stellaria media*), Klatschmohn (*Papaver rhoeas*), Gemeines Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*), Acker-Vergißmeinnicht (*Myosotis arvensis*) und Taubnesselarten (*Lamium* spp.) bekämpft, Kletten-Labkraut (*Galium aparine*) und Ehrenpreisarten (*Veronica* spp.) werden mit etwas geringeren aber ebenfalls guten Wirkungsgraden bekämpft. Die Applikation erfolgt im frühen Nachauflauf (BBCH 10-13) der Kultur mit einer Aufwandmenge von 95 g/ha, wobei 58 g/ha Isoxaben und 3,75 g/ha Florasulam appliziert werden. In den vergangenen Jahren durchgeführte Feldversuche zeigen eine ausgezeichnete Verträglichkeit in allen Getreidearten sowie eine deutliche Überlegenheit von GF-145 bei der Bekämpfung von ALS-resistentem

²™Trademark of the Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow

Ausfallraps gegenüber Florasulam und anderen ALS-Wirkstoffen. Das neue Herbizid GF-145 stellt mit dem Wirkstoff Isoxaben einen neuen MOA für die Unkrautbekämpfung im Herbst bereit und bietet damit neue Lösungsmöglichkeiten für die Bekämpfung von Ausfallraps und anderen kruiziferen Unkräutern sowie vielen weiteren dikotylen Unkräutern.

Stichwörter: ALS-resistenter Ausfallraps, dikotyle Unkräuter, Florasulam, Isoxaben, Wintergetreide

Introduction

GF-145 is a new cereal herbicide which contains isoxaben (610 g ai/kg) and florasulam (40 g ai/kg). Florasulam is well known from Starane XL™ (fluroxypyr + florasulam, 100 + 2.5 g/L, SE) and Primus™ (florasulam, 50 g/L, SC). Florasulam controls *Galium aparine*, *Matricaria* sp., *Polygonum convolvulus*, *Papaver rhoeas* and cruciferous weeds including volunteer rape (SCHLOTTER *et al.*, 1998) and has also regulatory approval for uses in autumn (BECKER *et al.*, 2004). Isoxaben has regulatory approval in forestry, ornamentals and orchards with a maximum use rate of 1.0 L/ha (500 g ai/ha isoxaben). Historically, isoxaben was approved in Germany for uses in cereals in 1988 to 1991 at maximum use rate of 100 g ai/ha isoxaben to control *Brassica napus*, *Veronica persica*, *P. rhoeas* and *Lamium* spp.. Isoxaben inhibits cellulose synthesis and florasulam is an ALS inhibitor that provides superior control of GALAP and other weeds in cold conditions (BECKER *et al.*, 2000; BECKER *et al.*, 2002). In recent years, ALS resistant *Matricaria* spp. (MATSS) has been occasionally observed (SCHLEICH-SAIDFAR *et al.*, 2011). Furthermore, the introduction of the ALS resistant oil seed rape Clearfield^{®3} has created the need for robust herbicides to manage occurrence and spread of volunteer oil seed rape (KRATO and PETERSEN, 2012 b) to reduce the competitive effect of volunteer oil seed rape on the yield of the following crop (KRATO and PETERSEN, 2012 a). GF-145 provides residual control through isoxaben on ALS resistant cruciferous weeds combined with the well known efficacy of florasulam (i.e. GALAP control under cold conditions).

Materials and methods

Development trials with GF-145 were conducted from 2001 to 2012 in Germany, France and the UK by Dow AgroSciences internal field research and development personnel or trials were carried out by contract organizations in accordance with GEP. Most trials were designed as randomized complete block with 4 replicates, plot size was 12 to 30 m² and weed control of GF-145 and commercial standards were assessed 2 and 4 weeks after application and in following spring. Phytotoxicity to cereal crops was assessed 1 week after application and continued as long as symptoms were visible. The weed control was rated visually as an overall score of the percentage control or phytotoxicity relative to the non-treated check. Crop selectivity and yield was evaluated in trials without weed competition. In crop selectivity trials, GF-145 was applied at target dose (95 g FP/ha) and double dose rate (190 g FP/ha). Trials with Clearfield[®] oil seed rape drilled into cereal crops were conducted in 2012. The occurrence of the characteristic resistance genes (ALS I with position Ser-653, ALS III with position Trp-574) in the drilled oil seed rape seeds was confirmed by IdentXX GmbH.

Characteristics of GF-145

Active ingredients:	florasulam (40 g ai/kg) + isoxaben (610 g ai/kg)
Formulation:	Water Dispersible Granules (WG)
Target crops:	Winter cereals (soft wheat, barley, rye, triticale)
Target dose rate:	95 g FP/ha
Application timing:	BBCH 10-13 in autumn
Mode of action:	Acetolactate synthase inhibitor (ALS, HRAC B) + cellulose synthesis inhibitor (HRAC L)
Symbol:	N
Bee toxicity:	No

³ Clearfield is a trademark of BASF Crop Protection

Results

Weed spectrum

GF-145 was tested in winter cereals at application timing BBCH 10 to 13. GF-145 performed in winter cereals at very high levels (>95% efficacy) on cruciferous weeds including volunteer rape (*B. napus*, *Capsella bursa-pastoris*, *Descurainia sophia*) and *P. rhoeas*, *Stellaria media* and *L. purpureum*. *Veronica* sp. and *Galium aparine* were moderately susceptible but sufficiently controlled while *Viola arvensis* was not controlled (Tab. 1).

Tab. 1 Weed spectrum of GF-145 (95 g/ha) when applied at BBCH 10 to 13 in winter cereals in the autumn. Figures in brackets indicate number of trials.

Tab. 1 Unkrautspektrum und Wirkung von GF-145 (95 g/ha) bei Anwendung im Stadium BBCH 10 bis 13 in Wintergetreide im Herbst. Anzahl der Versuche in Klammern.

Weed species	Weed code	Efficacy of GF-145 at 95 g/ha
<i>Brassica napus</i> subsp. <i>napus</i>	BRSNW	99 (6)
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	100 (2)
<i>Descurainia sophia</i>	DESSO	100 (2)
<i>Galium aparine</i>	GALAP	95 (2)
<i>Lamium purpureum</i>	LAMPU	100 (2)
<i>Matricaria chamomilla</i>	MATCH	100 (4)
<i>Myosotis arvensis</i>	MYOAR	99 (3)
<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	96 (13)
<i>Stellaria media</i>	STEME	99 (4)
<i>Veronica arvensis</i>	VERAR	100 (1)
<i>Veronica hederifolia</i>	VERHE	83 (3)
<i>Veronica persica</i>	VERPE	91 (7)
<i>Viola arvensis</i>	VIOAR	(15)

Efficacy on ALS resistant oil seed rape (Clearfield®)

GF-145 was applied at early post emergence (BBCH 10-11) of the crop to the oil seed rape. GF-145 provided excellent efficacy (90% control) 3 to 5 weeks after application (WAA) in autumn 2012 that was superior to the standards flupyr-sulfuron methyl (34%) and Primus (63%). Further assessments were done the following year. At final assessment (approximately 27 weeks after application) GF-145 provided excellent control of Clearfield® rape (99%) that was superior to flupyr-sulfuron (57%) and Primus (79%). The final control assessments may not reflect valid differences among treatments because extended ambient temperatures below 0°C that occurred in April 2013 caused high oil seed rape mortality. The assessments taken 3 to 5 WAA provide the most reliable efficacy comparisons between GF-145 and the commercial standards.

Tab. 2 Efficacy of GF-145 at 95 g/ha compared to flupyr-sulfuron and Primus™ on ALS resistant Clearfield® oil seed rape. Average of 6 trials.

Tab. 2 Wirkung von GF-145 (95 g/ha) im Vergleich zu Flupyr-sulfuron und Primus™ auf ALS-resistenten Clearfield®-Raps. Mittelwert von 6 Feldversuchen.

Weed species	WAA*	GF-145	flupyr-sulfuron methyl	Primus
		at 95 g/ha	at 10 g ai/ha	at 75 mL/ha
ALS res. BRSNW	3 to 5	90	34	62
ALS res. BRSNW	>27	99	57	79

*WAA=Assessment in weeks after application

Crop selectivity and yield response

GF-145 provided excellent winter cereals selectivity when autumn-applied from BBCH 10 to BBCH 13. Phytotoxicity (% visual) was evaluated in 10 trials with wheat and barley treated with single (95 g FP/ha) and double use rates (190 g FP/ha). Crop phytotoxicity symptoms > 5% were not seen in any trial at 95 g/ha and a maximum of 10% injury (chlorosis) was seen in one winter wheat trial at 190 g FP/ha. Injuries - if any - were transient and did not impact crop yield statistically significant as demonstrated (Tab. 3).

Tab. 3 Yield response (in T/ha and relative to the untreated check) of GF-145 at single (95 g FP/ha) and double (190 g FP/ha) use rates when applied to winter cereals at BBCH 10 to 13 in weed free situations (n=number of trials).

Tab. 3 Ertragseinfluss (absolut und relativ zur unbehandelten Kontrolle) von GF-145 mit einfacher (95 g/ha) und doppelter (190 g/ha) Aufwandmenge in Wintergetreide zu BBCH 10 bis 13 unter unkrautfreien Bedingungen (n=Anzahl der Versuche).

Crop	Evaluation type	Treatment	TRZAW			HORVW		
			T/ha	%	n	T/ha	%	n
		Rate (g FP/ha)						
GF-145		95	8,3	101,1	6	6,0	98,7	4
GF-145		190	8,2	99,8	6	6,1	100,9	4
untreated			8,3	100,0	6	6,1	100,0	4

Impact on following crops

The impact on following crops was assessed with the single and double dose rates. Potential succeeding crops planted were winter oil seed rape, winter wheat, field beans and alfalfa the year after application of GF-145 (approximately 10 to 12 month later) and crop planted the following spring (15 to 18 month later) were maize, soybeans, spring oil seed rape, sunflower, field peas and sugar beet. Alfalfa and winter oilseed rape were drilled after minimum soil cultivation while the other crops were drilled after ploughing. No phytotoxicity symptoms were observed in the following crops. However, it is recommended to plough before sowing oil seed rape.

Discussion

GF-145 is a new herbicide containing the active ingredients florasulam and isoxaben. The combination of active substances in GF-145 expands the spectrum of weed species being controlled, including weeds resistant to ALS herbicides compared to florasulam applied alone. The soil residuality of isoxaben enables the control of late emerged weeds not present at application, such as *C. bursa-pastoris* or *L. purpureum*. Furthermore, the benzamide isoxaben adds a new mode

of action to the cereal herbicide portfolio and it is the only herbicide product in the German herbicide market belonging to HRAC class L. GF-145 controls ALS resistant weeds (such as *Matricaria* spp.) and volunteer Clearfield® oil seed rape. In addition, recent studies have shown that florasulam (belonging to the triazolo-pyrimidines) still controls ALS target site resistant *Matricaria* spp. that is no longer controlled by sulfonylurea herbicides (SCHLEICH-SAIDFAR *et al.*, 2011; ULBER *et al.*, 2012).

In autumn, early post-emergence applied GF-145 provides excellent control of cruciferous weeds (*Brassica* spp. and others), *P. rhoeas*, *S. media*, *Lamium* spp. and good control of *G. aparine* and *Veronica* spp. The weed spectrum and the early application timing turns GF-145 to an ideal tank-mix partner for early applied graminicides to further broaden weed control spectrum.

Efficacy gaps are likely going to evolve due to the introduction of ALS resistant oil seed rape, such as Clearfield® varieties. It was shown by KRATO and PETERSEN (2012 b) that florasulam provides in contrast to sulfonylureas good level of control on ALS resistant volunteer rape. Due to its excellent efficacy on oil seed rape isoxaben adds ideally florasulam in preventing spread and negative yield impact on the cereal crop as reported by KRATO and PETERSEN (2012 a) for competitive interaction between cereal crop and volunteer oil seed rape plants.

References

- BECKER, J., E. SCHMOLKE, J. ZINK, P. DANIAU and A.R. THOMPSON, 2000: Untersuchungen zum Einfluß niedriger Temperaturen und AHL auf die Wirksamkeit des neuen Getreideherbizids Primus. Z. PflKrankh. PflSchutz., Sonderh. **XVII**, 525-530.
- BECKER J., I. ERDEI and J.Y. MERCHEZ, 2002: DOW 00300H – ein neues Nachaufaufherbizid zur Bekämpfung von dikotylen Unkräutern in Getreide. Z. PflKrankh. PflSchutz., Sonderh. **XVIII**, 705-713.
- BECKER, J., I. ERDEI and U. HOMA, 2004: Die Anwendung von PRIMUS im Herbst als Soloprodukt und in Tankmischungen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **396**, 243.
- KRATO C. and J. PETERSEN, 2012 a: Competitive effects of volunteer oilseed rape in wheat depending on weed density. Julius-Kühn-Archiv **434**, 451-458.
- KRATO C. and J. PETERSEN, 2012 b: Response of imidazolinone-tolerant and -susceptible winter oilseed rape genotypes to ALS inhibiting herbicides. Julius-Kühn-Archiv **438**, 209-210.
- SCHLOTTER P., J. ZINK, R. FORTMEIER, E. SCHMOLKE, A.R. THOMPSON and A. MCREATH, 1986: Florasulam – ein neuer Wirkstoff zur Bekämpfung von breitblättrigen Unkräutern in Getreide. Z. PflKrankh. PflSchutz., Sonderh. **XVI**, 527-534.
- SCHLEICH-SAIDFAR C., H.G. DROBNY, J. PEREZ, M. FEIERLER, F.G. FELSENSTEIN, J.R. GERTZ and N. BALGHEIM, 2011: Observations, field trials and analysis of a special population of mayweed (*Matricaria recutita*) with resistance against ALS-inhibitors in Schleswig-Holstein (Germany). J. Plant Dis. Protect. **118** (2), 87.
- ULBER, L., E. SVOBODA, B. JASER, F.G. FELSENSTEIN and P. ZWARGER, 2012: Monitoring for ALS resistance in chamomile species in Germany. Julius-Kühn-Archiv **438**, 318-319.

Mehrfährige Erfahrungen mit GOLTIX® TITAN® bei der Bekämpfung von einjährigen zweikeimblättrigen Unkräutern in Rüben

Experience with GOLTIX® TITAN® controlling annual dicotyledonous weeds in beets

Martina Fell*, Antje-Viola Kalfa, Franz Stuke und Gerd Dingebauer

Feinchemie Schwebda GmbH, Edmund-Rumpler-Straße 6, 51149 Köln

*Korrespondierender Autor, martina.fell@fcs-feinchemie.com

DOI 10.5073/jka.2014.443.071



Zusammenfassung

Bei dem Herbizid GOLTIX® TITAN® (525 g/l Metamitron, 40 g/l Quinmerac) handelt es sich um eine Kombination der Wirkstoffe Metamitron (525 g/l) und Quinmerac (40 g/l), die in dieser Form einzigartig ist. Das Mittel wird zur Bekämpfung von einjährigen zweikeimblättrigen Unkräutern in Rüben eingesetzt. Zugelassen wurde die Splittinganwendung im Nachauflauf mit 3 x 2,0 l/ha (3 Nachauflaufbehandlungen Keimblatt), sodass die Gesamtmenge an ausgebrachtem Wirkstoff bei voller Aufwandmenge 3150 g/ha Metamitron und 240 g/ha Quinmerac beträgt. Zudem wurde die Zulassung von GOLTIX® TITAN® im Voraufbau beantragt.

Eine Vielzahl an Feldversuchen aus den Jahren 2009 bis 2013 zeigt die optimierte Wirksamkeit auf im Rübenanbau wichtige Unkräuter, darunter Kletten-Labkraut (*Galium aparine*), Hundspetersilie (*Aethusa cynapium*) und Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*). Die Rübenverträglichkeit war in den Versuchen zu allen Anwendungszeitpunkten und in den praxisüblichen Mischungen sehr gut.

Durch die beiden Wirkstoffe mit unterschiedlichen Wirkmechanismen ist das Produkt ein wichtiger Baustein im Resistenzmanagement. Die Nutzung von Wirkstoffen, die flexibel einsetzbar sind und von denen keine bekannten Risiken für die Umwelt ausgehen, ist besonders vorteilhaft. Die erzielten Versuchsergebnisse bestätigen die gelungene Formulierung dieses hochentwickelten Rübenherbizids. Diese Eigenschaften zeichnen GOLTIX® TITAN® als neue Basis jeder Unkrautbekämpfungsmaßnahme aus.

Stichwörter: Hundspetersilie, Kletten-Labkraut, Metamitron, Quinmerac, Rübenherbizid

Abstract

The herbicide GOLTIX® TITAN® is the unique combination of two active ingredients, Metamitron (525 g/L) and Quinmerac (40 g/L). GOLTIX® TITAN® is used for the control of annual dicotyledonous weeds in sugar and fodder beets. Registration was granted for the post emergence splitting application with 3 x 2,0 L/ha (3 applications). This corresponds to the amount of 3150 g Metamitron and 240 g Quinmerac per hectare at maximum application rate. The registration application for pre-emergence application has been submitted.

Several field trials were carried out between 2009 and 2013. These trials revealed the optimized efficacy on important weeds in sugar beet production including Fool's parsley (*Aethusa cynapium*), Cleavers (*Galium aparine*) and Fat-hen (*Chenopodium album*). Selectivity was examined in all of these trials and showed good results with all relevant mixtures at all application times.

The two active ingredients have different modes of action; hence, the product plays an important role in resistance management. They can be applied flexibly and do not have any known negative influence on the environment. The successful formulation of this highly sophisticated sugar beet herbicide was confirmed by the available trial results. GOLTIX® TITAN® with its specified characteristics is the base for every weed control measure.

Keywords: Cleavers, Fool's Parsley, metamitron, quinmerac, sugar beet herbicide

Einleitung

Im Zuckerrübenanbau ist die Unkrautbekämpfung ein elementarer Bestandteil einer wirtschaftlichen Produktion. Die frühzeitige Beseitigung der Konkurrenz um Nährstoffe, Wasser sowie Licht im Jugendstadium der Zuckerrübe ist das wesentliche Ziel unterschiedlichster Bekämpfungsstrategien, um einen optimalen Ertrag zu erzielen. Dabei muss immer wieder ein Ausgleich gefunden werden, der die Herbizidempfindlichkeit von dem Rübenkeimling und der Jungpflanze berücksichtigt, ohne die Wirksamkeit gegenüber den Unkräutern zu vernachlässigen. Im Regelfall gilt: Je früher die Unkräuter ausgeschaltet werden, umso geringer kann der Herbizidaufwand sein. Gleichzeitig entwickeln sich die Rübenpflanzen besser, je weniger

Konkurrenz sie durch das Unkraut erhalten. Die bekannten Verfahren zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben haben sich in den letzten Jahren weiterentwickelt, wobei sich Tankmischungen verschiedener Wirkstoffe bewährt haben. Der blattaktive Anteil einer Tankmischung sollte mit dem boden- und wurzelaktiven Anteil auf die jeweilige Verunkrautung abgestimmt werden.

Ein vorrangig über den Boden wirksamer Basiswirkstoff ist Metamitron, welcher seit Jahrzehnten die Grundlage für eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung in Rüben ist. Seit 2012 ist dieser Wirkstoff mit einer weiteren wesentlichen Komponente, dem Quinmerac, als GOLTIX® TITAN® auf dem Markt verfügbar. Die Erfahrungen mit dieser einzigartigen Kombination sind Gegenstand dieser Veröffentlichung.

Material und Methoden

Produktprofil

GOLTIX® TITAN® ist ein selektiv wirkendes Herbizid zur Bekämpfung zweikeimblättriger Unkräuter in Zucker- und Futterrüben im Nachauflauf (Frühjahr). GOLTIX® TITAN® ist mit einer Aufwandmenge von 2,0 l/ha zugelassen und darf dreimal in der Kultur bzw. im Jahr bis zu einer Gesamtaufwandmenge von 6,0 l/ha angewendet werden. Die Zulassung für GOLTIX® TITAN® wurde langfristig bis zum 31.08.2020 vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) erteilt. Eine Zulassungserweiterung für die Anwendung im Voraufbau wird angestrebt. Metamitron gehört zur HRAC-Gruppe C1, während Quinmerac der HRAC-Gruppe O angehört. Beide Wirkstoffe werden sowohl über die Wurzel als auch über das Blatt der Unkräuter aufgenommen. Die gute Bodenwirkung verhindert eine Spätverunkrautung mit *Galium aparine*, *Chenopodium album* und anderen dikotylen Unkräutern. GOLTIX® TITAN® ist als modernes Suspensionskonzentrat formuliert, es enthält besonders reine, langkettige, ungesättigte Fettsäuren. Diese tragen erheblich zur Verbesserung der UV-Stabilität des Wirkstoffes Metamitron bei.

Tab.1 Produktprofil von GOLTIX® TITAN®.

Tab. 1 Product profile.

Wirkstoff [g/l]	Verbindungs- klasse	Wirkort	Wirk- mechanismus	HRAC- Gruppe	Aufnahme	
					Boden	Blatt
Metamitron [525]	Triazinone	Chloroplast	Photosynthese	C1	+++	+
Quinmerac [40]	Chinolincar- bonsäure	Plasmalemma	Wuchsstoffhaus- halt	O	++	++

Feldversuche

Zur Entwicklung von GOLTIX® TITAN® wurden in den Jahren 2009 bis 2011 umfangreiche Feldversuche zur Wirksamkeit in Deutschland durchgeführt. Sie bilden die Grundlage für die Zulassung von GOLTIX® TITAN®, die 2012 erteilt wurde. Dabei wurde ausschließlich die Soloanwendung von GOLTIX® TITAN® mit Goltix® Gold (700 g/l Metamitron) im Vergleich geprüft.

Im gleichen Zeitraum wurden elf mechanisch unkrautfrei gehaltene Selektivitätsversuche mit der zugelassenen Aufwandmenge von 3 x 2,0 l/ha GOLTIX® TITAN® und der doppelten Aufwandmenge von 3 x 4,0 l/ha im Vergleich zur maximal zugelassenen Gesamtaufwandmenge Goltix® Gold von 5,0 l/ha durchgeführt. Gemessen wurde der Feldertrag und als Qualitätsparameter wurden auch der Gesamtzuckergehalt und dessen extrahierbarer Anteil bestimmt.

Zur Praxiseinführung wurden in den Jahren 2012 und 2013 zahlreiche Versuche bei offiziellen Stellen durchgeführt und aus 20 Versuchen werden im vorliegenden Beitrag Ergebnisse dargestellt, in denen die zugelassene Aufwandmenge von jeweils 2,0 l/ha GOLTIX® TITAN® den Grenzaufwandmengen von 3 x 1,3 l/ha pro Spritzung GOLTIX® TITAN® bzw. 3 x 1,0 l/ha Goltix® Gold

gegenübergestellt werden. Ziel war es, bei nahezu identischen Wirkstoffmengen von Metamitron, den Zusatzeffekt von Quinmerac deutlich zu machen. Eingesetzt wurden die GOLTIX®-Produkte mit der praxisüblichen Aufwandmenge eines gleichen Blattpartners in Spritzfolgen (jeweils drei Nachaufaufwendungen). Die in den Versuchen getestete Aufwandmenge von 1,3 l/ha GOLTIX® TITAN® in drei Anwendungen (= 3,9 l/ha in Summe) entspricht 65 % der zugelassenen Aufwandmenge. Nahezu äquivalent waren die in den Versuchen eingesetzten Wirkstoffaufwandmengen an Metamitron in beiden getesteten Varianten mit 2048 g/ha Metamitron bei GOLTIX® TITAN® und 2100 g/ha Metamitron bei Goltix® Gold.

Im Vergleich dazu werden auch die Ergebnisse der vollen zugelassenen Aufwandmenge von GOLTIX® TITAN® (3 x 2,0 l/ha), allerdings mit einem anderen, jedoch in der Wirksamkeit vergleichbaren, Blattpartner dargestellt. Diese Werte sollen als Orientierung dienen, was bei maximaler Aufwandmenge an Wirksamkeit zu erzielen ist. Gleichzeitig gibt der Einsatz verschiedener blattaktiver Mischungspartner Rückschlüsse auf die Kulturverträglichkeit und die physikalische Mischbarkeit.

Die Versuche waren über alle Rübenanbaugelände verteilt und vermitteln einen repräsentativen Überblick über die wichtigsten dikotylen Unkräuter. Es wurden insgesamt 20 Unkrautarten registriert. Neben *Chenopodium album* sind *Polygonum spp.*, *Galium aparine*, *Aethusa cynapium*, *Mercurialis annua* und Ausfallraps als besonders häufige und bedeutsame Arten hervorzuheben. An zwei exemplarischen Versuchen zu *Galium aparine* (2012) und *Aethusa cynapium* (2013) wird die spezielle Wirksamkeit auf diese Problemunkräuter herausgestellt.

In einer weiteren Versuchsserie (fünf Versuche im Jahr 2013) wurde der Voraufbau-Einsatz von GOLTIX® TITAN® untersucht. Hintergrund ist das Anstreben dieser Zulassungsindikation und des Nachweises, dass die Wirksamkeit vor allem gegen *Aethusa cynapium* vorrangig vom Wirkstoff Quinmerac abhängig ist (ERNST, 2003; REESE, 2013).

Ergebnisse

Wirksamkeit 2009 - 2011

In Abbildung 1 sind die Wirksamkeitsergebnisse aus den Jahren 2009 - 2011 der zugelassenen Aufwandmengen von GOLTIX® TITAN® im Vergleich zu Goltix® Gold bei acht verschiedenen Unkrautarten zusammengefasst dargestellt. Je nach Unkrautart konnte die Wirksamkeit beim Einsatz der Einzelprodukte ohne jegliche Mischpartner zum Teil deutlich verbessert werden.

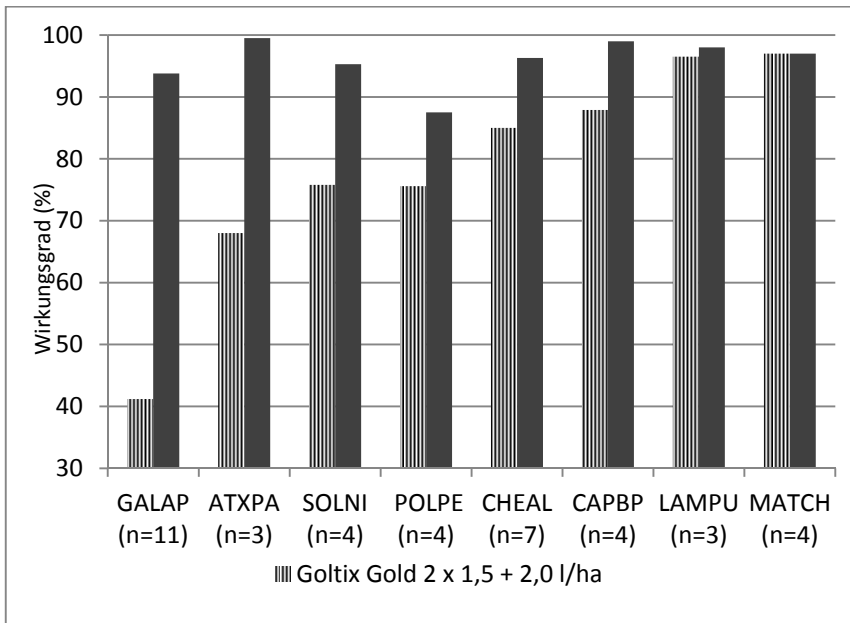


Abb.1 Wirkung auf verschiedene Unkräuter mit einer Gesamtmenge an Wirkstoff: GOLTIX[®] TITAN[®]: 3150 g/ha, Metamitron + 240 g/ha Quinmerac, Goltix[®] Gold: 3500 g/ha Metamitron (n = 14).

Fig.1 Efficacy on different dicotyledonous weeds (n = 14).

Selektivität

Bei den visuellen Bonituren auf Blattschäden vier Wochen nach der letzten NAK-Behandlung wurden in den elf Selektivitätsversuchen bei GOLTIX[®] TITAN[®] im Vergleich zu Goltix[®] Gold keinerlei Symptome festgestellt.

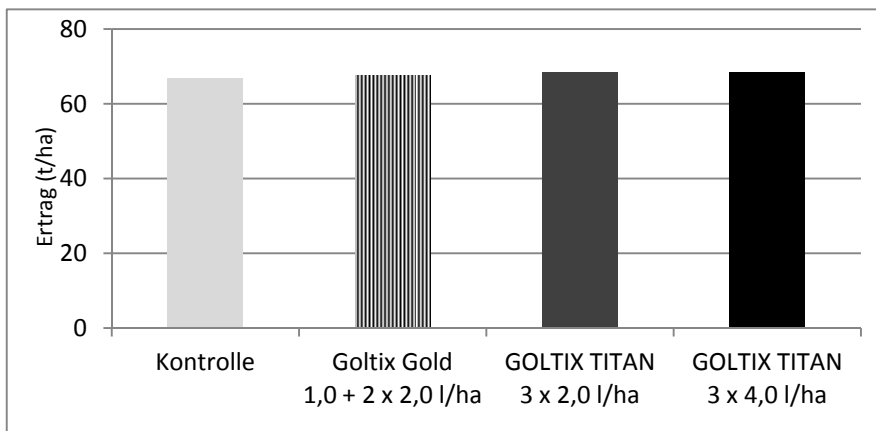


Abb. 2 Einfluss von GOLTIX[®] TITAN[®] auf den Rübenenertrag bei Applikation der maximalen Aufwandmenge (6,0 l/ha) und der doppelten Aufwandmenge (12,0 l/ha) im Nachauflauf. Datenbasis: 11 Versuche.

Fig. 2 GOLTIX[®] TITAN[®] impact on sugar beet yield.

In den Selektivitätsversuchen mit den mechanisch unkrautfrei gehaltenen Parzellen konnte nachgewiesen werden, dass GOLTIX® TITAN® auf den Rübenenertrag, den Zuckergehalt und dessen extrahierbaren Anteil weder bei zugelassener, noch bei doppelter Aufwandmenge einen negativen Einfluss hatte, wie die Abbildung 2 zeigt. Die geringen Unterschiede lagen im Schwankungsbereich. Der Zuckergehalt variierte nur sehr schwach zwischen 18,7 % und 18,9 %. Der Anteil an extrahierbarem Zucker lag im sehr engen Bereich zwischen 17,1 % und 17,4 % und unterschied sich ebenfalls, sogar bei doppelter Aufwandmenge, nicht von der unbehandelten Kontrolle oder dem Referenzprodukt.

Versuche 2012 - 2013

Die durchgeführten Auftragsversuche hatten zum Ziel, an Hand von Grenzaufwandmengen bei den beiden GOLTIX®-Produkten die Wirksamkeitseffekte auf unterschiedliche Unkrautarten zu testen. Die bundesweite Verteilung der Versuche in allen Rübenanbaugebieten gibt einen repräsentativen Überblick der vorkommenden dikotylen Unkräuter.

In den Versuchen trat eine Vielzahl dikotyler Unkräuter auf. Die Abb. 3 zeigt die ermittelten Wirkungsgrade für die am häufigsten bonitierten Unkräuter. Dies waren *Chenopodium album* (n=19) gefolgt von *Polygonum aviculare* (n=8) und *Polygonum convolvulus* (n=7), *Mercurialis annua* (n=6), *Aethusa cynapium* (n=3), *Viola avensis* (n=3), *Urtica urens* (n=2), *Amaranthus retroflex* (n=2) und *Lamium purpureum* (n=2).

Die in der Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse bei einer nahezu identischen Metamitronmenge zeigen, dass der zusätzliche Wirkstoff Quinmerac im GOLTIX® TITAN® die Wirksamkeit auf zahlreiche Unkräuter verbessert. Eine noch bessere Herbizidleistung konnte beim Einsatz der zugelassenen Aufwandmenge von 3 x 2,0 l/ha GOLTIX® TITAN® erreicht werden.

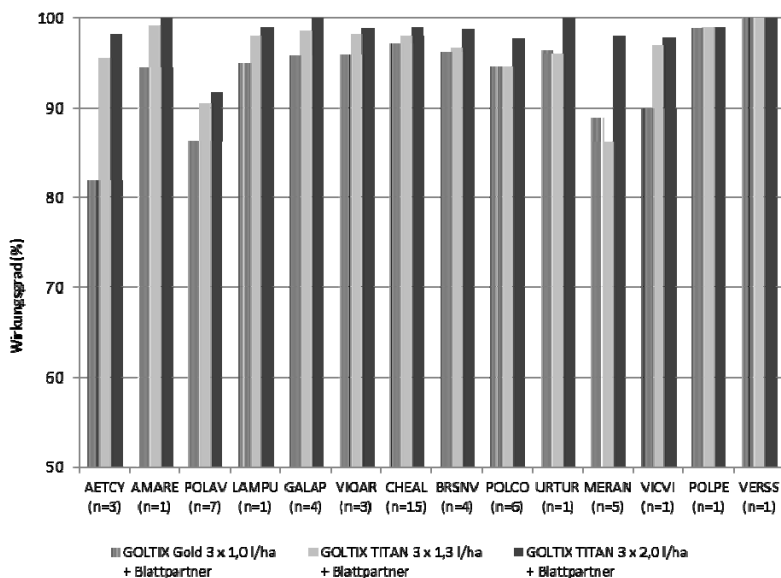


Abb. 3 Vergleich der Wirksamkeit auf verschiedene Unkräuter bei Grenzaufwandmengen von Goltix® Gold und GOLTIX® TITAN® im Vergleich zur vollen Aufwandmenge GOLTIX® TITAN® in Spritzfolgen in 2012 und 2013. Datenbasis: 20 Versuche aus 2012 und 2013.

Fig. 3 Comparison of the efficacy on different dicotyledonous weeds.

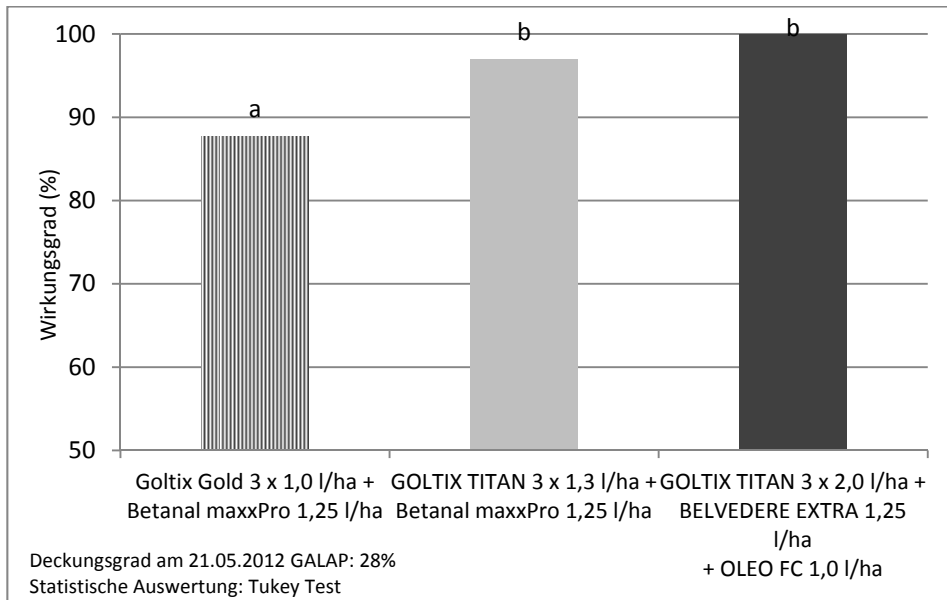


Abb. 4 Wirksamkeit auf *Galium aparine* (GALAP) aus einem Versuch mit unterschiedlich getesteten Spritzfolgen mit GOLTIX[®] TITAN[®] bzw. Goltix[®] Gold zur Abschlussbonitur am 16.06.2012. Datenbasis: 1 Standort (Hennef), Versuchsdurchführer: LWK NRW. Standardabweichung = 2,06. Statistische Auswertung: Tukey Test.

Fig. 4 Efficacy on *Galium aparine* (GALAP).

Ebenfalls wurde in den Versuchen die Kulturverträglichkeit der Varianten zwischen den Behandlungen und nach dem Reihenschluss bonitiert. GOLTIX[®] TITAN[®] zeigte eine gute Kulturverträglichkeit. Es wurden keine Unterschiede zwischen den Varianten GOLTIX[®] TITAN[®] + Blattpartner und Goltix[®] Gold + Blattpartner festgestellt. Wie hoch der Wirksamkeitseffekt in Einzelfällen sein kann, zeigt die Abbildung 4 am Beispiel von *Galium aparine* (GALAP).

Vorauflaufversuche mit GOLTIX[®] TITAN[®]

Neben der Nachauflaufzulassung wird für GOLTIX[®] TITAN[®] auch eine Zulassung mit 3,0 l/ha im Vorauflauf und 3 x 1,0 l/ha in Nachauflauf, bei der Einhaltung der Gesamtaufwandmenge von 6,0 l/ha, angestrebt. Der in Abbildung 5 aufgezeigte Versuch zeigt eindrucksvoll, dass hier sehr gute Wirkungsgrade zu erwarten sind. Weitere Versuche sind hier notwendig.

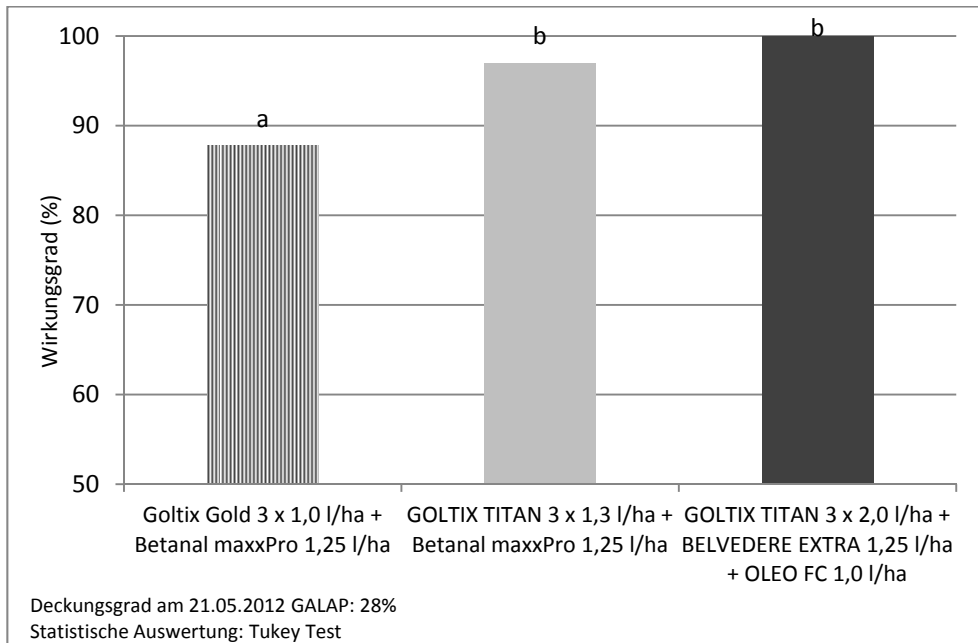


Abb. 5 Wirksamkeit auf *Aethusa cynapium* (AETCY) aus einem Versuch mit unterschiedlich getesteten Spritzfolgen mit GOLTIX[®] TITAN[®] bzw. Goltix[®] Gold zur Abschlussbonitur am 04.06.2013.

Datenbasis: 1 Standort (Erfstadt), Versuchsdurchführer: LWK NRW. Standardabweichung = 3,86.

Statistische Auswertung: Tukey Test.

Fig. 5 Efficacy on *Aethusa cynapium* (AETCY).

Diskussion

Bei der Unkrautbekämpfung im Zuckerrübenanbau stehen der Landwirtschaft seit vielen Jahren die gleichen Wirkstoffe zur Verfügung. Der Erfolg der Behandlung hängt von der Kombination nur weniger Basiswirkstoffe ab. Die Herausforderung, dem Markt Weiterentwicklungen bei immer höher werdenden Umweltaforderungen zur Verfügung zu stellen, kann neben der Entwicklung neuer Wirkstoffe darin liegen, bewährte Wirkstoffe in einem Produkt so geschickt zu kombinieren, dass Bekämpfungserfolg bei guter Kulturverträglichkeit und gleichzeitiger Minderung der Umweltrisiken gegeben ist.

Mit GOLTIX[®] TITAN[®] ist eine neue Kombination aus den langjährig bewährten Basiswirkstoffen Metamitron und Quinmerac zugelassen worden. Über das Mischungsverhältnis der Wirkstoffe zueinander werden die Eigenschaften, wie Aufnahme und Transport der Wirkstoffe, Gefahr von Resistenzenentwicklung der Unkräuter und Kulturverträglichkeit, optimal eingestellt. Es ist eine fachlich sinnvolle Weiterentwicklung der GOLTIX[®]-Produkte, da es insbesondere bei bedeutsamen Unkräutern im Rübenanbau (ERNST, 2003), wie Kletten-Labkraut und Hundspetersilie eine deutliche Wirkungsverbesserung zeigt, die vorrangig dem Wirkstoff Quinmerac zuzuschreiben ist (KLAASEN und MENCK, 1994). Dabei ist die Kulturverträglichkeit, wie bei allen GOLTIX[®]-Produkten, uneingeschränkt gegeben. Als modernes Suspensionskonzentrat beinhaltet GOLTIX[®] TITAN[®] besonders reine, langkettige ungesättigte Fettsäuren, die zudem zur Verbesserung der UV-Stabilität der Wirkstoffe beitragen.

Die Vielzahl der Versuchsergebnisse zeigt auch, dass GOLTIX[®] TITAN[®] in der Mischung mit bewährten blattwirksamen Produkten zu Wirkungsverbesserungen und zur Wirkungssicherheit bei vielen Unkrautarten beiträgt, was aus der Kombination der beiden Wirkstoffe resultiert. *Galium*

aparine, *Aethusa cynapium*, *Chenopodium album* und *Polygonum aviculare* sind einige der Unkräuter, die mit der Kombination sicherer bekämpft werden können.

In einer Versuchsserie von fünf Versuchen im Jahr 2013 in Deutschland wurde insbesondere die Wirksamkeit auf Hundspetersilie (*Aethusa cynapium*) getestet, um damit einer Diskussion um Gewässerfunde (SCHÖNHAMMER und APPEL, 2010; ANONYM, 2010) die Grundlage zu entziehen und dennoch weiterhin die Möglichkeit einer sehr guten Bekämpfung zu haben.

Zudem kann mit GOLTIX® TITAN® die Unkrautbekämpfung einfacher gestaltet werden. GOLTIX® TITAN® weist eine Aufwandmengenelastizität auf, die bei geringer Verunkrautung zu nutzen ist. Besonders bei der Bekämpfung von Kletten-Labkraut, welches bei der Bekämpfungsabsicht von Landwirten als erstes genannt wird (KLEFFMANN GROUP, 2013), bietet GOLTIX® TITAN® eine erhöhte Sicherheit, die gegebenenfalls eine reduzierte Aufwandmenge des Blattpartners erlaubt, was mit weiteren Vorteilen verbunden ist. Den Anforderungen für ein modernes, integriertes Vorgehen beim Herbizideinsatz im Rübenanbau wird damit entsprochen. Außerdem ist GOLTIX® TITAN® für alle Bodenarten geeignet. Ein differenziertes Vorgehen, wie es bisher bei dem Kombinationsprodukt mit Quinmerac empfohlen wurde, ist künftig nicht mehr erforderlich (vgl. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2013; WETZLER, 2010).

Insgesamt ist eine ausreichende Wirkstoffmenge pro Hektar eine wichtige Voraussetzung für eine optimale Wirksamkeit. Sie ist zudem ein wichtiger Baustein zur Vermeidung von Resistenzen (VARRELMANN und KALFA, 2013). Ein Herausselektieren unempfindlicherer Unkrautindividuen durch zu niedrige Aufwandmengen würde in der Folge erhöhte, häufig risikoreichere Mehrfachmischungen bedeuten. Eine solche Situation gilt es zu vermeiden. GOLTIX® TITAN® mit seinen zwei Wirkstoffen leistet dazu einen Beitrag.

Literatur

- ANONYM, 2010: Chloridazon-Metaboliten im Grundwasser In top agrar Nr. 2, Münster, Landwirtschaftsverlag GmbH, 47-48.
- ERNST, V., 2003: Zur Diversität von *Galium aparine* L.-Herkünften In Dissertation Hohenheim, Institut für Phytomedizin, S. 22ff.
- KLAASSEN, H. und B.H. MENCK, 1994: Rebell® -das neue Herbizid in Zuckerrüben. In: Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIV, 595-602.
- KLEFFMANN GROUP, 2013: Ergebnisse einer Landwirte-Befragung.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (Herausgeber), 2013: Empfehlungen Pflanzenbau und Pflanzenschutz, S. 124ff.
- REESE, F., 2013: Produktneuheiten und Auflagen. In Land und Forst Nr. 12, Hannover, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 15ff.
- SCHÖNHAMMER, A. und J. APPEL, 2010: VENZAR® (Lenacil 500 g/l SC) – ein bewährtes Herbizid in Zuckerrüben in Deutschland wieder verfügbar. In: Tagungsband Deutsche Pflanzenschutztagung, S. 303.
- VARRELMANN, M. und A.-V. KALFA, 2013: Biotypen des Weißen Gänsefuß mit verringerter Anfälligkeit gegen Triazine und Triazinone. In: Zuckerrübe Nr. 3, Bonn, DLG AgroFood medien GmbH, S. 28ff.
- WETZLER, H., 2010: Rüben sauber halten – mehr als nur Routine! In top agrar Nr. 2, Münster Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 68-74.

MaisTer® Power: eine Terbutylazin- freie Lösung zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Mais

MaisTer® Power: a Terbutylazin free new solution to control monocotyledonous and dicotyledonous weeds in maize.

Martin Wegener^{1*} und Torsten Balz²

¹Bayer Crop Science AG, Development Herbicides, Alfred Nobel Straße 50, 40789 Monheim

²Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert Straße 4a, 40764 Langenfeld

*Korrespondierender Autor, martin.wegener@bayer.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.072

Zusammenfassung

MaisTer® power ist eine Kombination aus den bekannten Wirkstoffen Foramsulfuron (31,5 g/l, Iodosulfuron (1,04 g/L) sowie dem neu entwickelten Wirkstoff Thiencarbazon-methyl (10,0 g/l) aus der Gruppe der ALS Hemmer und dem neuen Safener Cyprosulfamide (15,0 g/l). Das Produkt kann mit einer Aufwandmenge von 1,5 L/ha oder 1,0 L/ha eingesetzt werden.

Während die Wirkstoffe Foramsulfuron und Iodosulfuron fast ausschließlich über die Blätter aufgenommen werden, wird Thiencarbazon-methyl sowohl über die Blätter als auch über die Wurzeln aufgenommen. Dadurch kann bei einer Behandlung von 1,5 l/ha eine Residualwirkung auf nachlaufende Ungräser und Unkräuter, insbesondere auf *Polygonum*-Arten, beobachtet werden. Das Wirkungsspektrum umfasst alle relevanten Ungräser und Unkräuter, welche im Mais auftreten können.

Bei der Verwendung von 1,0 l/ha kann zur Absicherung des Wirkungsspektrums, speziell bei weiter entwickelten Unkräutern, die Tankmischung mit einem Bodenpartner (z. B. Aspect®) Sinn machen.

Stichwörter: Mais, MaisTer, MaisTer power, Unkrautkontrolle, Ungräser, Unkräuter, Terbutylazin, Wirksamkeit

Abstract

MaisTer® power is a combination of the well-known active ingredients Foramsulfuron (31,5 g/L), Iodosulfuron (1,04 g/L) and the new developed ai Thiencarbazon-methyl (10,0 g/L) and the new safener Cyprosulfamide (15,0 g/L). All three active ingredients belong to the group of the ALS inhibitors. The product can be applied with a dose rate of 1,5 L/ha or 1,0 L/ha. Foramsulfuron and Iodosulfuron will be taken up via the leaves of the plants whereas Thiencarbazon-methyl can penetrate the plants via the roots and the leaves. By using a dose rate of 1,5 L/ha a very good residual activity against new flushes of grass or broadleaf weeds will be observed. All relevant grass and broadleaf weeds in maize will be controlled after the application of MaisTer power including *Polygonum* species.

If a dose rate of 1,0 L/ha is used it could make sense to add a tank mix partner like Aspect to complete the spectrum against some weeds like *Chenopodium album* or *Polygonum convolvulus*.

Keywords: Efficacy, Maize, MaisTer, MaisTer power, grass weeds, weeds, Terbutylazin, weed control

Einleitung

Beim Anbau von Mais ist die Periode der Blattbildung ein sehr wichtiger Abschnitt im Entwicklungsablauf. Bei 6-8 Blättern entwickeln sich die ersten Kolbenanlagen und der Vegetationskegel erreicht bzw. durchstößt die schützende Bodenoberfläche. In dieser Zeit ist die Unkrautkonkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe unbedingt zu vermeiden, da starker Unkrautdruck kann zu erheblichen Ertragsminderungen führen kann. Für die Bekämpfung der auflaufenden Ungräser und Unkräuter steht eine Vielzahl von Wirkstoffen zur Verfügung, unter anderem auch die Gruppe der ALS-Hemmer (Acetolactatsynthase), welche in die Biosynthese von verzweigten Aminosäuren eingreifen. Eine Stärke dieser Wirkstoffgruppe liegt unter anderem in der Bekämpfung von überdauernden Ungräsern (z. B. Quecke) oder Weidelgräsern und Ausfallgetreide. Aber auch einjährige Ungräser und Unkräuter werden mit erfasst. Die meisten Wirkstoffe dieser Gruppe werden fast ausschließlich über die Blätter aufgenommen, sodass oft ein Partner mit Residualwirkung nötig ist, um nach der Anwendung nachlaufende Ungräser und Unkräuter zu bekämpfen. MaisTer power besteht aus den beiden überwiegend blattaktiven

Wirkstoffen Foramsulfuron und Iodosulfuron sowie dem neuen Wirkstoff Thiencarbazonemethyl, der sowohl durch die Blätter, als auch über die Wurzeln der Ungräser/Unkräuter aufgenommen werden kann (+ dem neuen Safener Cyprosulfamide). Dadurch ergeben sich eine Reihe von Unterschieden im Vergleich zur derzeitig zugelassenen Wirkstoffkombination Foramsulfuron (30 g/l)+Iodosulfuron (1 g/l)+ Isoxadifen (30 g/l) (MaisTer flüssig)

Material und Methoden

Die Ergebnisse zur Wirkung des Solo Produktes, die in diesem Vortrag präsentiert werden, wurden während der Jahre 2009 - 2012 in 188 Feldversuchen in Nord-Europa erarbeitet. Die Versuche wurden in Deutschland (n = 130), im maritimen Teil von Frankreich (n = 15), in der Tschechischen Republik (n = 25), in den Niederlanden (n = 5) und in Österreich (n = 11) angelegt. Die Ergebnisse zur Wirkung gegenüber größeren Ungräsern/Unkräutern wurden in einer dreijährigen Versuchsserie (2001-2013) auf 17 Standorten in Deutschland erarbeitet. Die Anlage erfolgte gemäß den GEP-Grundsätzen und auf der Grundlage der entsprechenden EPPO- bzw. CEB- (Frankreich) Richtlinien zur Beurteilung der biologischen Wirkung und Selektivität von Herbiziden. Die Versuche wurden dabei entweder auf Praxisflächen oder auf Flächen der Bayer-Versuchsstationen in Form einer randomisierten Blockanlage mit 3 - 4 Wiederholungen sowie einer Parzellengröße von ca. 15 m² angelegt. Die Behandlungen erfolgten mit einem Parzellenspritzgerät. Für die abschließende Bewertung der Unkrautwirkung wurde die Bonitur 4 - 6 Wochen nach der letzten Applikation verwendet.

Ergebnisse

Die Zusammenfassung der Ergebnisse von den 188 Standorten der maritimen EPPO Zone zeigte, im Bereich der Ungräserbekämpfung, dass die am häufigsten beobachteten Arten *Echinochloa crus-galli* (n = 37), *Setaria viridis* (n = 8), *Poa annua* (n = 7) und *Pennisetum glaucum* (n = 5) nach dem Einsatz von 1,0 oder 1,5 l/ha MaisTer power gut bis sehr gut bekämpft wurden. Bei den Arten *E. crus-galli* und *S. viridis* konnte aufgrund der geringeren Streuung der Ergebnisse eine höhere Wirkungssicherheit durch den Einsatz von 1,5 l/ha beobachtet werden. *Digitaria* Arten dagegen werden in der Regel nicht ausreichend bekämpft. Unter günstigen Bedingungen können im Einzelfall aber durchaus gute Wirkungsgrade erreicht werden. Gegenüber dem mehrjährigen Ungras *Agropyron repens* wurden 60 - 70 Tage nach der Applikation ebenfalls gute (1,0 l/ha) bzw. sehr gute (1,5 l/ha) Wirkungsgrade beobachtet.

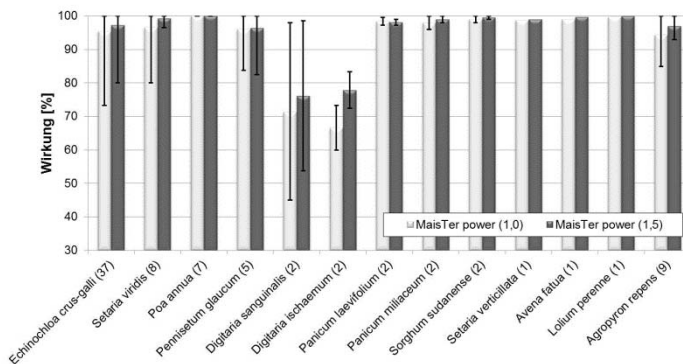


Abb. 1 Wirkungsspektrum von MaisTer power gegen Ungräser, 188 Versuche 2009-2012 maritime EPPO Klimazone, Bonitur 4 - 6 Wochen nach der Applikation zu BBCH 12-14 der Kultur (A. repens: 60 - 70 Tage n. der Applikation). Zahlen in Klammern geben die Häufigkeit des Auftretens der Unkräuter an.

Fig. 1 Efficacy spectrum of MaisTer power against grasses, 188 trials 2009 - 2012 maritime EPPO zone, assessment 4 - 6 weeks after application at BBCH 12-14 of the crop (A. repens: 60 - 70 days after application). Numbers in brackets indicate the frequency of the weeds.

Bei der Bekämpfung von breitblättrigen Unkräutern konnten bei den meisten aufgetretenen Arten keine Unterschiede in der Wirkungssicherheit nach der Applikation der beiden Aufwandmengen beobachtet werden. Daher wird hier auf eine Darstellung dieser Ergebnisse verzichtet. In Abbildung 2 wird das Wirkungsspektrum der beiden Aufwandmengen von MaisTer power für die, am häufigsten aufgetretenen, Unkräuter dargestellt.

Bei *Chenopodium album*, *Polygonum convolvulus* und *Solanum nigrum* zeigten sich deutliche Unterschiede in der Streuung der Wirksamkeit bei Verwendung von 1,0 l/ha MaisTer power im Vergleich zu 1,5 l/ha.

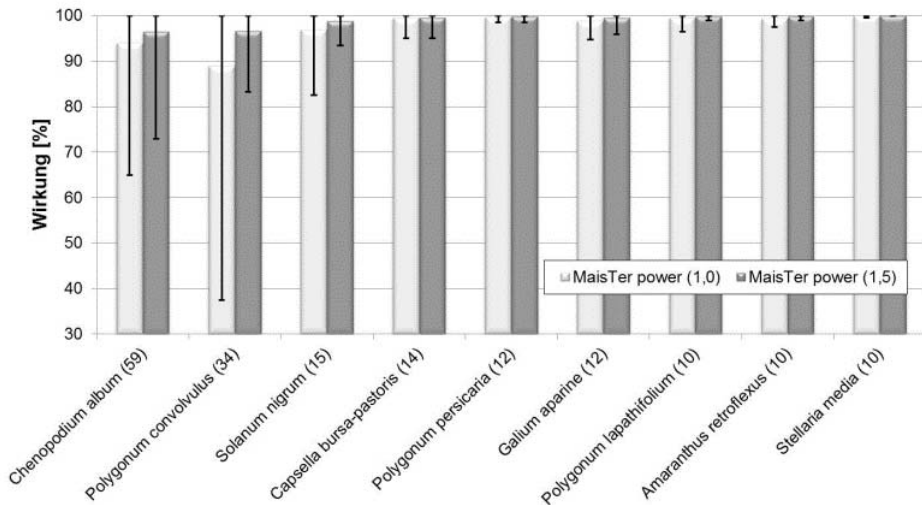


Abb. 2 Wirkungsspektrum von MaisTer power gegen die am häufigsten beobachteten Unkräuter (n>9), 188 Versuche 2009-2012 maritime EPPO Klimazone, Bonitur 4-6 Wochen nach der Applikation zu BBCH 12-14 der Kultur. Zahlen in Klammern geben die Häufigkeit des Auftretens der Unkräuter an.

Fig. 2 Efficacy spectrum of MaisTer power against the most frequent observed dicot weeds (n>9), 188 trials 2009-2012 maritime EPPO zone, assessment 4-6 weeks after application at BBCH 12-14 of the crop. Numbers in brackets indicate the frequency of the weeds.

Bei der Bekämpfung der anderen Unkräuter ließen sich keine Unterschiede in der Wirkung der verglichenen Aufwandmengen beobachten.

Basierend auf den Ergebnissen des Einsatzes des Soloproduktes wurde in einem 3-jährigen Versuchsprogramm (2001 - 2013) untersucht, inwieweit sich durch die Zumischung von Tankmischpartnern, bei den genannten Unkräutern, die Wirkungssicherheit, besonders beim Einsatz von 1,0 l/ha, verbessern lässt. Um gleichzeitig auch praxisrelevante Worst-case Szenarien zu simulieren, wurden die Applikationen auf weiter entwickelte Unkräuter durchgeführt.

Insgesamt traten 5 Ungras-Arten und 17 Unkraut-Arten in den Versuchen auf. Allerdings wurden nur bei den in Tabelle 1 aufgeführten Arten auch ein Wirkungsunterschied nach der Applikation des Soloproduktes im Vergleich zu einer Tankmischung mit Aspect (Flufenacet+Terbuthylazin) beobachtet. Bei den restlichen Arten lag das Wirkungsniveau des Soloproduktes bereits so hoch, dass keine zusätzliche Wirkungsverstärkung durch den Tankmischungspartner beobachtet werden konnte.

Tab. 1 Entwicklungsstadium ausgewählter Unkräuter bei Applikation, 17 Versuche 2011 - 2013 Deutschland, Bonitur 4 - 6 Wochen nach der Applikation zu ca. BBCH 12-14 der Kultur.

Tab. 1 Growth stage of selected weeds at application, 17 trials 2011-2013 Germany, assessment 4 - 6 weeks after application at approx. BBCH 12 - 14 of the crop.

Unkrautname	Anzahl Standorte	BBCH Stadium bei Applikation
<i>E. crus-galli</i>	4	13-30
<i>C. album</i>	6	18-55
<i>P. convolvulus</i>	6	14-33
<i>P. persicaria</i>	2	13-33
<i>L. purpureum</i>	3	11-61

Wie aus der Abbildung 3 zu ersehen ist, ließen sich in der Regel, bei den ausgewählten Ungräsern/Unkräutern deutliche Unterschiede im Wirkungsniveau zwischen den beiden Aufwandmengen 1,0 l/ha und 1,5 l/ha MaisTer power zugunsten der höheren Dosis erkennen. Dies trifft auch auf die Wirkungssicherheit zu, die sich in einer geringeren Streuung der Versuchsergebnisse nach der Behandlung mit 1,5 l/ha zeigte.

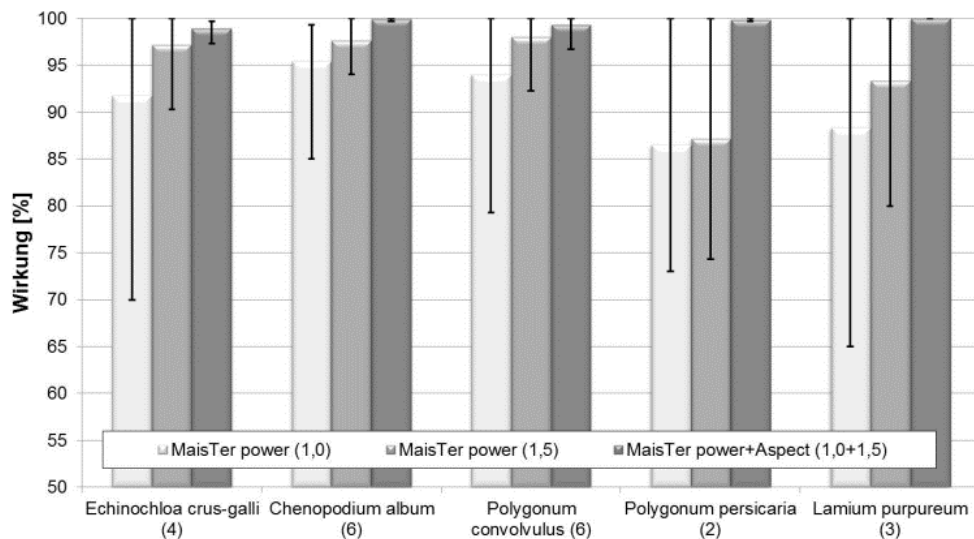


Abb. 3 Wirkungsspektrum von MaisTer power solo und in Tankmischung gegen weiter entwickelte ausgesuchte Unkräuter, 17 Versuche 2011-2013 Deutschland, Bonitur 4 - 6 Wochen nach der Applikation zu ca. BBCH 12 - 14 der Kultur. Zahlen in Klammern unter den Unkrautarten geben die Häufigkeit des Auftretens der Unkräuter an.

Fig. 3 Efficacy spectrum of MaisTer power straight and in tank mixture against bigger selected weeds, 17 trials 2011 - 2013 Germany, assessment 4 - 6 weeks after application at approx. BBCH 12 - 14 of the crop. Numbers in brackets below the weed species indicate the frequency of the weeds.

Durch die Zumischung des Tankmischpartners wurde in allen Fällen eine Verbesserung der Wirkung auf ein mittleres Niveau von 99-100 % erreicht.

Diskussion

MaisTer power ist eine Kombination aus drei ALS-Hemmern. Im Vergleich zu dem bereits bekannten Produkt MaisTer flüssig (Foramsulfuron+Iodosulfuron+Isoxadifen) wurde durch die Kombination mit dem neuen Wirkstoff Thiencarbazon-methyl eine Residualwirkung gegenüber den wichtigsten, im Mais vorkommenden Ungräsern und Unkräutern erreicht. Diese Residualwirkung machte die Verwendung eines neuen Safeners (Cyprosulfamide) nötig, der von der Pflanze sowohl über die Wurzeln als auch über die Blätter aufgenommen werden kann.

Eine Stärke des neuen Wirkstoffs liegt besonders in der Bekämpfung von Knöterich-Arten, die eine bisher bei ALS Hemmern übliche Zumischung von Bromoxynil überflüssig macht.

Die Auswertung der mehrjährigen Versuchsreihen zeigte nur geringe Wirkungsunterschiede zwischen 1,0 und 1,5 l/ha MaisTer Power gegenüber den meisten Ungras/Unkrautarten. Für die beiden wichtigsten breitblättrigen Arten (*C. album* und *P. convolvulus*) dagegen wurde eine größere Wirkungssicherheit beim Einsatz der höheren Aufwandmenge (1,5 l/ha) beobachtet. Beim Einsatz von 1,0 l/ha macht daher der Zusatz eines Tankmischpartners (z. B. Aspect) Sinn, um die bei dieser Aufwandmenge verringerte Residualwirkung von Thiencarbazon-methyl zu kompensieren. Dies trifft auch auf Situationen zu, in denen die Unkräuter zum Behandlungstermin bereits weiter entwickelt sind. Hier wird über die Verstärkung der Blattwirkung durch Flufenacet und Terbutylazin eine Wirkungsverbesserung erreicht. Obwohl diese beiden Wirkstoff über eine stärkere Bodenwirkung verfügen, reicht die geringere Blattwirkung aus, um das Wirkungsniveau von 1,0 l/ha MaisTer power so zu verstärken, dass sehr gute Wirkungsgrade, je nach Art, beobachtet werden konnten.

In Regionen, in denen Terbutylazin nicht eingesetzt werden darf, bietet sich eine Spritzfolge mit dem Produkt Laudis (Tembotrione+Isoxadifen) an. MaisTer power sollte dann im BBCH 12 - 13 der Kultur eingesetzt werden und Laudis zu BBCH 16, um eventuell nachgelaufene Ungräser/Unkräuter zu bekämpfen. Für Laudis ist eine Zulassungserweiterung bis BBCH 18 eingereicht worden. Sollte die Behörde dieser Erweiterung stattgeben, dann erweitert sich der Bereich der Nachspritzung auf BBCH 16 - 18.

Aufgrund der Verbesserung des Wirkungsspektrums und der Residualwirkung ist geplant, dass MaisTer power das Präparat MaisTer flüssig ersetzen wird.

Literatur

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION: Guidelines for the efficacy evaluation of plant protection products: PP 1/50 (3) 2006, PP 1/135 (3) 2011, PP 1/152 (4) 2012, PP 1/181 (3) 2003, PP 1/214 (1) 2012, PP 1/226 (1) 2012, PP 1/223 (1) 2012.

Atlantis FLEX (BAY 22010 H) – ein neues Herbizid zur Bekämpfung von Ungräsern in Getreide

Atlantis FLEX (BAY 22010 H) – a new herbicide in cereals with efficacy against grasses

Dirk Kerlen^{1*} und Peter Naunheim¹

¹Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Str. 4a, D 40764 Langenfeld

*Korrespondierender Autor, dirk.kerlen@bayer.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.073

Zusammenfassung

Atlantis FLEX (Mesosulfuron-methyl; Propoxycarbazone-sodium; Mefenpyr-diethyl) ist ein neues Getreideherbizid zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Weidelgras-Arten (*Lolium spec.*), Trespens-Arten (*Bromus spec.*), Flughafer (*Avena fatua*), Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti* L.), Einjährigem Rispengras (*Poa annua* L.) und einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern. Das Produkt kann zur Frühjahrsapplikation in den Kulturen Winterweichweizen (*Triticum aestivum* L.), Wintertriticale (*Triticale*), Winterroggen (*Secale cereale* L.), Winterhartweizen (*Triticum durum* DESF.) und Dinkel (*Triticum spelta* L.) eingesetzt werden.

Der Beitrag befasst sich mit der Auswertung mehrjähriger Versuche hinsichtlich der Wirkung von Atlantis FLEX im Nachauflaufeinsatz im Frühjahr. Hierbei wird gezeigt, dass Atlantis FLEX gute bis sehr gute Wirksamkeiten in den zuvor genannten Ungräsern erreichen kann.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, *Bromus spec.*, Gräserherbizid, *Lolium spec.*, Mesosulfuron-methyl, Propoxycarbazone-sodium

Abstract

Atlantis FLEX (Mesosulfuron-methyl; Propoxycarbazone-sodium; Mefenpyr-diethyl) is a new cereal herbicide to control blackgrass (*Alopecurus myosuroides*), ryegrass (*Lolium spec.*), brome grass (*Bromus spec.*), wild oat (*Avena fatua*), loose silky-bentgrass (*Apera spica-venti* L.), annual meadow-grass (*Poa annua* L.) and dicot weeds. Atlantis FLEX can be used in winter wheat, winter triticale, winter rye, winter durum wheat and spelt.

The publication is based on efficacy trials from two years of spring application with Atlantis FLEX. It will be shown, that Atlantis FLEX generates a good to excellent efficacy against grass-weeds.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, *Bromus spec.*, cereal herbicide, *Lolium spec.*, mesosulfuron-methyl, propoxycarbazone-sodium

Einleitung

Dem deutschen Pflanzenschutzmarkt steht mit ATLANTIS WG (Mesosulfuron-methyl; Iodosulfuron-methyl-sodium; Mefenpyr-diethyl) seit seiner Einführung im Jahre 2003/2004 ein breit wirksames Produkt gegen Ungräser in Getreide zur Verfügung. Atlantis FLEX stellt durch die Kombination der beiden Wirkstoffe Mesosulfuron-methyl, Propoxycarbazone-sodium und des Safeners Mefenpyr-diethyl eine Weiterentwicklung zur Ungrasbekämpfung in Wintergetreide dar.

Atlantis FLEX ist als wasserdispergierbares Granulat (WG) formuliert und enthält die Wirkstoffe Mesosulfuron-methyl 45 g/kg, Propoxycarbazone-sodium 67,5 g/kg und den Safener Mefenpyr-diethyl 90 g/kg. Die Aufnahme der Wirkstoffe findet hauptsächlich über das Blatt statt. Daher sollten zum Zeitpunkt der Applikation die meisten Ungräser bzw. Unkräuter schon aufgelaufen sein. Der Wirkungsschwerpunkt von Atlantis FLEX liegt in der Bekämpfung der Ungräser Acker-Fuchsschwanz, Trespens-Arten, Weidelgras-Arten, Flughafer, Gemeinen Windhalm und Einjährigem Rispengras, es werden aber auch einige Unkräuter mit erfasst. Die Zulassung für das Produkt Atlantis FLEX wird für den deutschen Pflanzenschutzmittelmarkt zur Frühjahrsapplikation im Nachauflauf in Winterweichweizen, Winterroggen, Wintertriticale, Winterhartweizen und Dinkel beantragt. Die Anwendungsgebiete können der Tabelle 1 entnommen werden. Die Anwendung von Atlantis FLEX erfolgt in Kombination mit dem Additiv Biopower (Fettalkoholethersulfat, Natriumsalz). Dadurch wird die Wirkung insbesondere gegen Ungräser abgesichert. Anhand der

nachstehenden Versuchsergebnisse soll der Einsatz von Atlantis FLEX in der Frühjahrsanwendung diskutiert werden.

Tab. 1 Anwendungsgebiete von Atlantis FLEX mit beantragter Zulassung.

Tab. 1 Application range of Atlantis FLEX with submitted registration.

Anwendung 001 Wirkung von Atlantis FLEX gegen:

Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Gemeiner Windhalm (APESV), Einjähriges Rispengras (POAAN)

Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter

in Winterweichweizen, Winterroggen, Wintertriticale, Winterhartweizen und Dinkel nach einmaliger Applikation von 0,2 kg/ha im Nachauflauf Frühjahr, BBCH Kultur 13 - 32

Anwendung 002 Wirkung von Atlantis FLEX gegen:

Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Trespens-Arten (BROSS), Weidelgras-Arten (LOLSS), Flughäfer (AVEFA)

Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter

in Winterweichweizen, Wintertriticale und Winterhartweizen nach einmaliger Applikation von 0,33 kg/ha im Nachauflauf Frühjahr, BBCH Kultur 13 - 32

Material und Methoden

Atlantis FLEX wird seit dem Frühjahr 2011 in Feldversuchen in Europa getestet. Der Schwerpunkt der angelegten Wirkungsversuche lag in der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz, Trespens-Arten, Weidelgras-Arten, Flughäfer, Gemeinen Windhalm, Einjährigem Rispengras und einjährig zweikeimblättrige Unkräuter.

Die Versuche wurden auf Praxisflächen angelegt. Die Durchführung der Versuche erfolgte nach EPPO-Vorgaben, im Speziellen kam die Richtlinie PP 1/93 (3) „Efficacy evaluation of herbicides“ zur Anwendung (EPPO-GUIDELINE PP1/93 (3), 2007).

Alle Versuche wurden in Form von randomisierten Blockanlagen mit einer Parzellengröße von mindestens 12,5 m² mit drei bzw. vier Wiederholungen durchgeführt.

Die Applikationen erfolgten entsprechend der geprüften Indikationen im Nachauflauf zur Frühjahrsapplikation mit einem Kulturstadium BBCH 13 bis BBCH 32 des Wintergetreides.

Bonitiert wurde nach EPPO-Vorgaben sowohl die Wirkung auf Unkräuter und Ungräser als auch die Selektivität in der Kultur. Zur Blüte der Ungräser (BBCH 61 - 69) wurde eine abschließende Bonitur auf Ungraswirkung durchgeführt.

Die Ergebnisse wurden als Boxplot Diagramme aufbereitet und dargestellt.

Ergebnisse

Wirkung von 0,2 kg/ha Atlantis FLEX gegen Ungräser

In den Jahren 2012 und 2013 wurde zur Frühjahrsapplikation in 25 Versuchen im Winterweichweizen die Leistung von Atlantis FLEX gegen Acker-Fuchsschwanz bei der Anwendung von 0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower bewertet. Das Vergleichsmittel ATLANTIS WG (VGM1) wurde mit 0,3 kg/ha + 0,6 l/ha Biopower zum gleichen Termin angewandt. Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, wurde bei einem durchschnittlichen Befall von 354 Ähren/m² die Anwendung im Kulturstadium BBCH 23 bis BBCH 31 durchgeführt. Atlantis FLEX erreichte ein Wirkungsgrad von durchschnittlich 98 % bei einer sehr stetigen Wirkung. Die Schwankungsbreite lag zwischen 78,1 % und 100 % Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz. Das Vergleichsmittel konnte hier einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 96 % mit einer Schwankungsbreite zwischen 72,9 % und 100 % Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz erreichen.

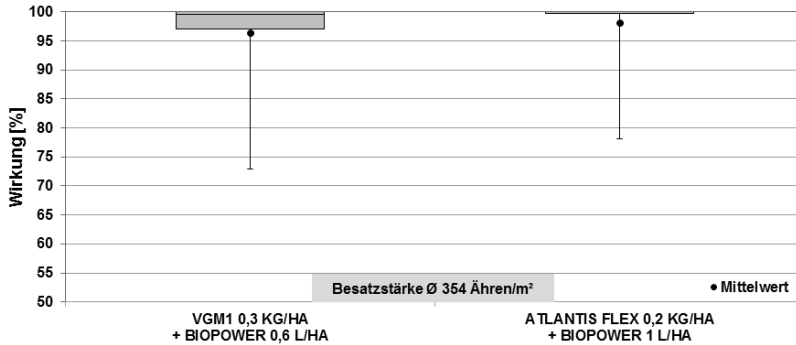


Abb. 1 Acker-Fuchsschwanzleistung auf sensiblen Standorten von Atlantis FLEX im Nachaufaufeinsatz Frühjahr (n = 25; TRZAW BBCH 23 bis BBCH 31; Deutschland Saison 2012 bis 2013).

Fig. 1 Efficacy of Atlantis FLEX against sensitive blackgrass in post emergence spring application (n = 25; TRZAW BBCH 23 to BBCH 31; Germany season 2012 to 2013).

Abbildung 2 fasst die Ergebnisse von 14 Versuchen der Applikationen im Kulturstadium BBCH 29 bis BBCH 31 des Winterweichweizens zusammen. Atlantis FLEX erreichte einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 98 % gegen Acker-Fuchsschwanz. Auch das Vergleichsmittel zeigte mit durchschnittlich 95,5 % eine gute Leistung gegen dieses Ungras.

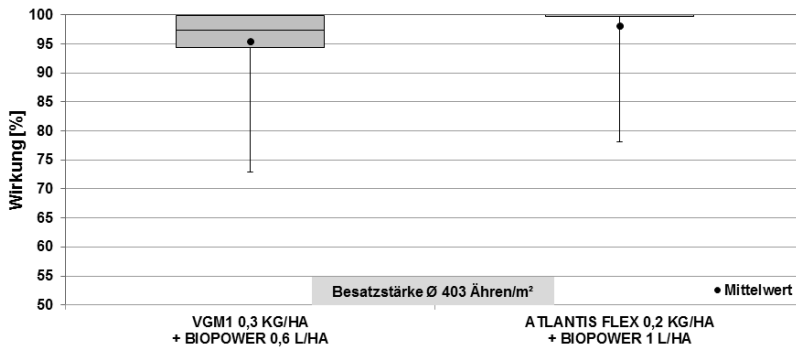


Abb. 2 Acker-Fuchsschwanzleistung von Atlantis FLEX in der späten Nachaufaufanwendung im Frühjahr (n = 14; TRZAW BBCH 29 bis BBCH 31; Deutschland Saison 2012 bis 2013).

Fig. 2 Efficacy of Atlantis FLEX against blackgrass in late post emergence spring application (n = 14; TRZAW BBCH 29 to BBCH 31; Germany season 2012 to 2013).

In den Windhalm-Wirkungsversuchen der Jahre 2012 und 2013 (Abb. 3) konnten sowohl Atlantis FLEX, das mit 0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower eingesetzt wurde, als auch das Vergleichsmittel mit einer Aufwandmenge von 0,3 kg/ha + 0,6 l/ha Biopower mit einer durchschnittlichen Wirkung von 100 % ohne Schwankungsbreite überzeugen. In den 12 durchgeführten Versuchen wurde eine durchschnittliche Besatzstärke von 155 Rispen/m² bonitiert und der Einsatzzeitraum beider Produkte war im Kulturstadium BBCH 21 bis BBCH31 des Winterweichweizens.

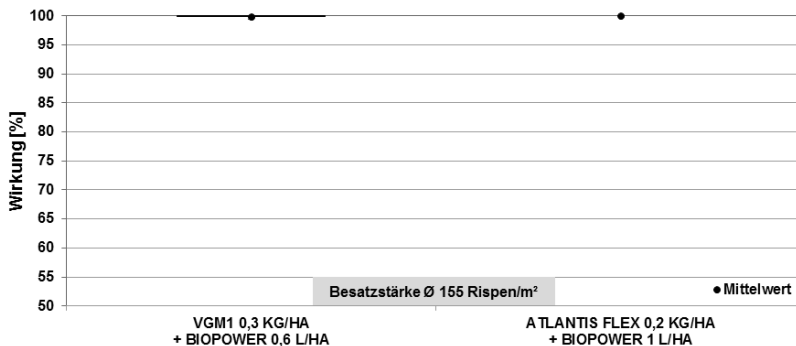


Abb. 3 Leistung gegen Gemeinen Windhalm von Atlantis FLEX im Nachauflaufeinsatz Frühjahr (n = 12; TRZAW BBCH 21 bis BBCH 31; Deutschland Saison 2012 bis 2013).

Fig. 3 Efficacy of Atlantis FLEX against silky-bentgrass in post emergence spring application (n = 12; TRZAW BBCH 21 to BBCH 31; Germany season 2012 to 2013).

Mit einer Aufwandmenge von 0,2 kg/ha Atlantis FLEX + 1,0 l/ha Biopower wurde auch in den 8 Versuchen gegen das Einjährige Rispengras gearbeitet (Abb. 4). Hier fand die Frühjahrsanwendung ebenfalls im Entwicklungsstadium des Winterweichweizens von BBCH 21 bis BBCH 30 statt. Bei einer Befallsstärke von durchschnittlich 135 Rispen/m² wurde Atlantis FLEX mit Ø 96 % Wirkung gegen das Einjährige Rispengras bonitiert. Das Vergleichsmittel erreichte eine durchschnittliche Wirkung von 91 %. Das Minimum der Wirkung von Atlantis FLEX mit 75,3 % gegen das Einjährige Rispengras lag im Vergleich zum Standard mit 64,9 % um 10 Prozentpunkte höher.

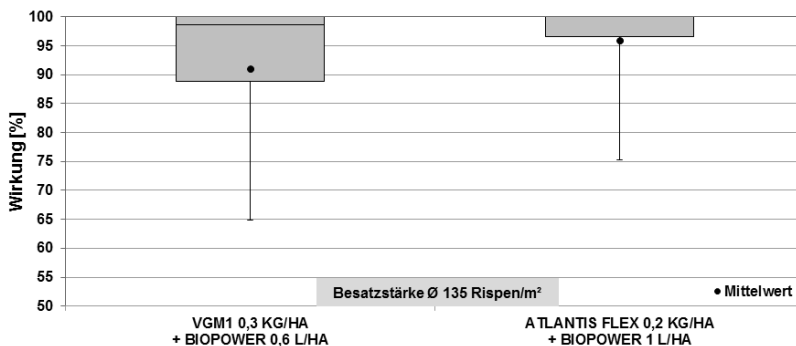


Abb. 4 Leistung gegen Einjähriges Rispengras von Atlantis FLEX im Nachauflaufeinsatz Frühjahr (n = 8; TRZAW BBCH 21 bis BBCH 30; Deutschland Saison 2012 bis 2013).

Fig. 4 Efficacy of Atlantis FLEX against silky-bentgrass in post emergence spring application (n = 8; TRZAW BBCH 21 to BBCH 30; Germany season 2012 to 2013).

Wirkung von 0,33 kg/ha Atlantis FLEX gegen Ungräser und Unkräuter

In den Jahren 2012 und 2013 wurde Atlantis FLEX mit 0,33 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower auf Acker-Fuchsschwanzstandorten mit hohem Besatzstärken bis zu 1974 Ähren/m² getestet. Teilweise wurde auf diesen Standorten Resistenzen gegen ACC^{ase} Inhibitoren (HRAC A) oder/und mit beginnender ALS Resistenz (HRAC B) gefunden (HEAP, 2013). Als Vergleichsstandard diente ATLANTIS WG (VGM1) mit einer Aufwandmenge von 0,5 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower. In Abbildung 5 sind die Ergebnisse von 19 Versuchen mit einer durchschnittlichen Befallsstärke von 773 Ähren/m²

dargestellt. Atlantis FLEX erzielte bei einer Applikation zum Kulturstadium BBCH 23 bis BBCH 31 des Winterweichweizens eine durchschnittliche Wirksamkeit von 88 % gegen Acker-Fuchsschwanz. Das Vergleichsmittel lag mit durchschnittlich 87 % Wirkung leicht unterhalb der Wirkung von Atlantis FLEX. Die Streuung der Acker-Fuchsschwanz Ergebnisse lag bei Atlantis FLEX zwischen 53,3 % und 100 % und beim Vergleichsmittel zwischen 46,7 % und 100 % Wirkung.

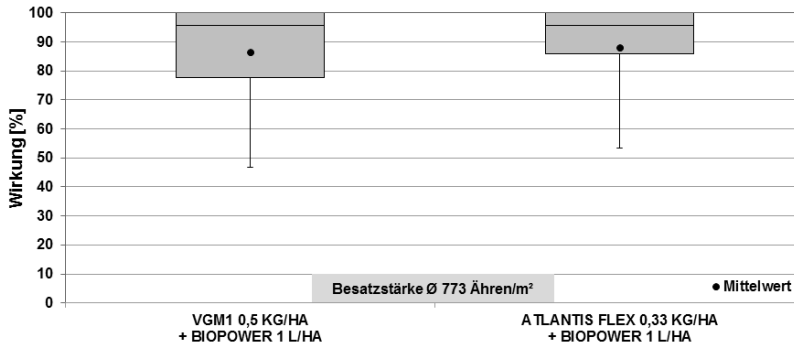


Abb. 5 Acker-Fuchsschwanzleistung auf Problemstandorten (starker Besatz; beginnende Resistenz) von Atlantis FLEX im Nachaufaufeinsatz Frühjahr (n = 19; TRZAW BBCH 23 bis BBCH 31; Deutschland Saison 2012 bis 2013).

Fig. 5 Efficacy of Atlantis FLEX against blackgrass in post emergence spring application. Sites with heavy infestation and/or beginning resistance (n = 19; TRZAW BBCH 23 to BBCH 31; Germany season 2012 to 2013).

Im gleichen Zeitraum der Jahre 2012 und 2013 wurde Atlantis FLEX auch im Einsatz gegen Flughafer getestet (Abb. 6). Mit der Aufwandwandmenge von 0,33 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower wurden in 7 Versuchen in Deutschland (2) und Tschechien (5) gute Wirksamkeiten beim Einsatz zum Kulturstadium BBCH 25 bis BBCH 31 des Winterweichweizens erreicht. Atlantis FLEX bekämpfte den Flughafer bei Besatzstärke von Ø 42 Rispen/m² mit durchschnittlich 99 % Wirkung und schwankte zwischen 92,6 % und 100 % Leistung. Das Vergleichsmittel erzielte eine Flughafer-Wirkung von durchschnittlich 98 % mit einer Schwankung zwischen 90,1 % und 100 %.

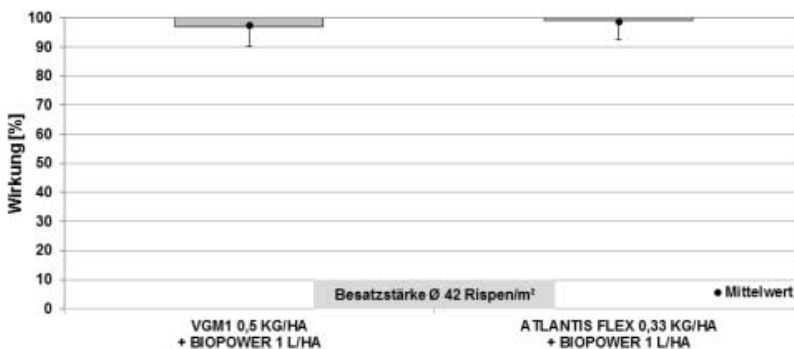


Abb. 6 Leistung von Atlantis FLEX gegen Flughafer im Nachaufaufeinsatz Frühjahr (n = 7; TRZAW BBCH 25 bis BBCH 31; Deutschland [2]; Tschechien [5]; Saison 2012 bis 2013).

Fig. 6 Efficacy of Atlantis FLEX against wild oat in post emergence spring (n = 7; TRZAW BBCH 25 to BBCH 31; Germany [2]; Czech [5]; season 2012 to 2013).

In den Jahren 2012 und 2013 wurde auch die Wirksamkeit von Atlantis FLEX gegen Trespen-Arten getestet. Atlantis FLEX wurde mit 0,33 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower gegen den Standard mit Atlantis WG 0,5 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower geprüft. In den 7 Versuchen aus Deutschland war die Taube Trespe mit einer durchschnittlichen Besatzstärke von 318 Rispen/m² vorherrschend (Abb. 7). Bei einem Frühjahrseinsatz zum Kulturstadium BBCH 25 bis BBCH 31 des Winterweizens erreichte Atlantis FLEX im Durchschnitt 85 % Wirkung, während der Standard (VGM1) einen Wirkungsgrad von durchschnittlich 78 % erzielte.

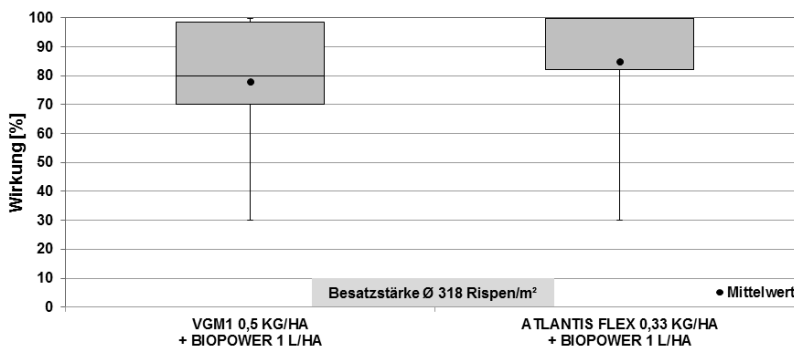


Abb. 7 Leistung von Atlantis FLEX gegen Taube Trespe im Nachaufaufeinsatz Frühjahr (n = 7; TRZAW BBCH 25 bis BBCH 31; Deutschland; Saison 2012 bis 2013).

Fig. 7 Efficacy of Atlantis FLEX against sterile brome in post emergence spring (n = 7; TRZAW BBCH 25 to BBCH 31; Germany; season 2012 to 2013).

Auch bei der Anwendung von Atlantis FLEX (0,33 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower) gegen Weidelgras-Arten wurde in den 5 deutschen Versuchen der Jahre 2012 und 2013 die Wirkung gegen Deutsches Weidelgras bewertet (Abb. 8). Die Applikation erfolgte im Kulturstadium BBCH 25 bis BBCH 29 und die Besatzstärke lag bei durchschnittlich 515 Ähren/m². Atlantis FLEX erreichte eine durchschnittliche Wirksamkeit von 95 % gegen das Deutsche Weidelgras. Der Standard (VGM1) lag bei 98 % Wirkung. Die Schwankungsbreite von Atlantis FLEX (75,9 % bis 100 %) war breiter als die des Standards (92,4 % bis 100 %).

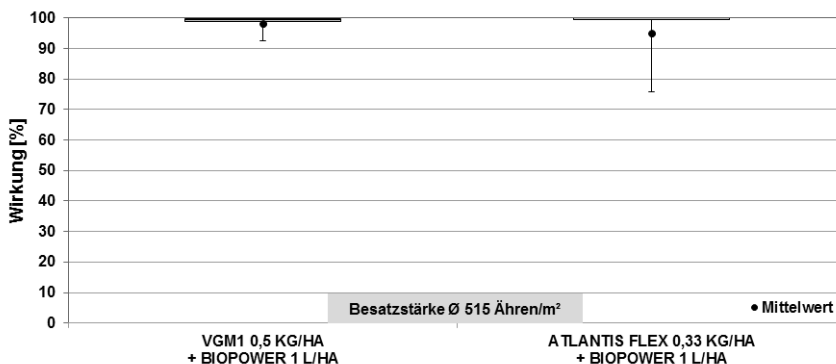


Abb. 8 Leistung von Atlantis FLEX gegen Deutsches Weidelgras im Nachaufaufeinsatz Frühjahr (n = 5; TRZAW BBCH 25 bis BBCH 29; Deutschland; Saison 2012 bis 2013).

Fig. 8 Efficacy of Atlantis FLEX against perennial ryegrass in post emergence spring (n = 5; TRZAW BBCH 25 to BBCH 29; Germany; season 2012 to 2013).

In den oben dargestellten 37 Versuchen aus den Jahren 2012 und 2013 mit Schwerpunkt der Bewertung hinsichtlich der Wirkung von Atlantis FLEX (0,33 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower) gegen Ungräser wurden auch die einjährig zweikeimblättrigen Unkräuter bewertet. In Abbildung 9 wurden alle Unkräuter mit 2 oder mehr Nennungen aufgetragen. Auch hier wurde Atlantis FLEX mit dem Standard ATLANTIS WG (VGM1) verglichen. In der rechten y-Koordinate wurde der durchschnittliche Unkrautdeckungsgrad in % aufgetragen (rautierte Säulen). Die Bewertung der Unkräuter fand in einem Zeitraum von 34 bis 43 Tagen nach der Applikation statt. Atlantis FLEX konnte bei folgenden Unkräutern eine ausreichende bis sehr gute Wirksamkeit (größer, gleich 85 %) erreichen: Gemeines Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris* (L.) MEDICUS; CAPBP; n = 5), Duftlose Kamille (*Matricaria inodora* L.; MATIN; n = 3), Vogel-Sternmiere (*Stellaria media* (L.) VILL; STEME; n = 6) und Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense* L.; THLAR; n = 3). Mit Wirkungsgraden zwischen 50 % und 84 % wurden folgende Unkräuter erfasst: Ausfallraps (*Brassica napus* L. ssp. *napus*; BRSNW; n = 2), Kornblume (*Centaurea cyanus* L.; CENCY; n = 2), Gemeiner Erdrauch (*Fumaria officinalis*; FUMOF; n = 3), Purpurrote Taubnessel (*Lamium purpureum* L.; LAMPU; n = 2), Echte Kamille (*Matricaria chamomilla* L.; MATCH; n = 9), Klatsch-Mohn (*Papaver rhoeas*; PAPRH; n = 4), Efeublättriger Ehrenpreis (*Veronica hederifolia* (L.); VERHE; n = 2) und Persischer Ehrenpreis (*Veronica persica* POIRET; VERPE; n = 3). Atlantis FLEX zeigte Wirkungsgrade unter 50 % bei folgenden Unkräutern: Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album* L.; CHEAL; n = 4), Kletten-Labkraut (*Galium aparine* L.; GALAP; n = 14), Acker-Vergissmeinnicht (*Myosotis arvensis* (L.) HILL; MYOAR; n = 6), Winden-Knöterich (*Polygonum convolvulus* L.; POLCO; n = 2) und Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*; VIOAR; n = 9).

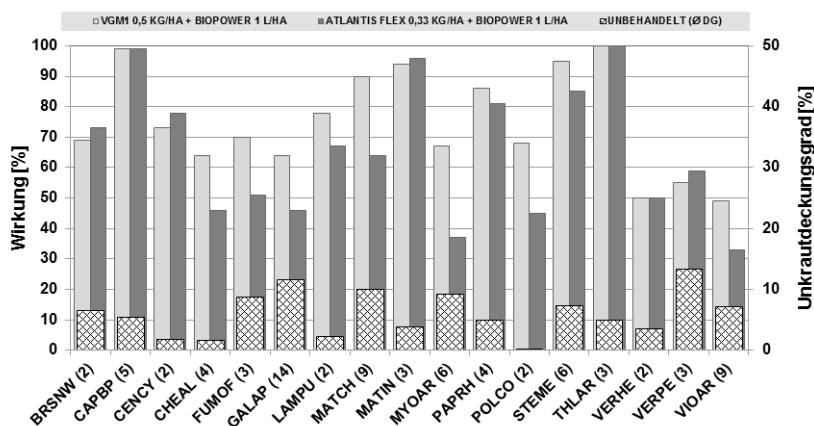


Abb. 9 Leistung von Atlantis FLEX gegen Dikotyle im Nachauflaufeinsatz Frühjahr. Bonitur 34 bis 43 Tage nach Applikation (n = 37; TRZAW BBCH 21 bis BBCH 31; Deutschland [31]; Tschechien [6]; Saison 2012 bis 2013).

Fig. 9 Efficacy of Atlantis FLEX against dicots in post emergence spring. Assessment 34 to 43 days after application (n = 37; TRZAW BBCH 21 to BBCH 31; Germany [31]; Czech [6]; season 2012 to 2013).

Diskussion

Atlantis FLEX konnte in den dargestellten Versuchen seine Vorzüglichkeit bei der Bekämpfung von Ungräsern wie Acker-Fuchsschwanz, Gemeiner Windhalm, Einjähriges Rispengras, Weidelgras-Arten, Trespens-Arten und Flughafer unter Beweis stellen. Bei den einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern stellt Atlantis FLEX ein Basisherbizid dar, das mit entsprechenden Mischpartnern eine ausreichende Wirkung generieren kann.

Atlantis FLEX sollte immer gemeinsam mit dem Additiv Biopower ausgebracht werden, um gute Wirksamkeiten zu erreichen. In der Anwendung von 0,2 kg/ha Atlantis FLEX in Kombination mit 1,0 l/ha Biopower konnten Wirksamkeiten gegen sensitiven Acker-Fuchsschwanz mit 98 % Wirkung

erreicht werden und somit das Wirkungsniveau des Standard übertroffen werden. Auch bei einer Applikation Kulturstadien BBCH 29 bis BBCH 31 des Winterweichweizens wurden hohe Wirkungsgrade beobachtet. In einer Vergesellschaftung mit Gemeinen Windhalm (APESV) oder Einjährigem Rispengras (POAAN) werden diese mit durchschnittlich 100 % (APESV) und 96 % Wirkung bei POAAN erfasst.

Die Applikation von 0,33 kg/ha Atlantis FLEX + 1,0 l/ha Biopower konnte auf Acker-Fuchsschwanz Problemstandorten, die sich durch hohe Besatzstärken (max. 1974 Ähren/m²) und teilweise durch Resistenzen bei ACC'ase Inhibitoren und/oder durch beginnende Resistenz bei ALS Inhibitoren charakterisieren, gute durchschnittliche Wirkungsgrade von 88 % erzielen. Flughafer wurde mit durchschnittlich 99 %, die Taube Trepse mit durchschnittlich 85 % sowie das Deutsche Weidelgras mit durchschnittlich 95 % Wirkung erfasst.

Im Vergleich zum Standard ATLANTIS WG (VGM1) zeigte Atlantis FLEX sowohl bei der hohen (0,33 kg/ha) als auch bei der reduzierten (0,2 kg/ha) Aufwandmengen bessere Wirksamkeiten gegenüber der geprüften Ungräser mit Ausnahme des Deutschen Weidelgrases.

Als Fazit der dargestellten Versuche zeigt sich das Potential von Atlantis Flex, das einen neuen Standard zur Bekämpfung von Ungräsern, im besonderen Acker-Fuchsschwanz, in der Nachauflauf-Anwendung im Frühjahr in Wintergetreide setzen kann.

Literatur

- EPPO-GUIDELINE PP 1/93 (3), 2007: Efficacy evaluation of herbicides, European and Mediterranean Plant Protection Organization.
HEAP, I., 2013: International Survey of Herbicide Resistant Weeds, Accessed Thursday, October 24, 2013.

Differential sensitivity of locally naturalized *Panicum* species to 4-hydroxyphenyl pyruvate dioxygenase and acetolactate synthase-inhibiting herbicides

Differentielle Sensitivität von lokal naturalisierten *Panicum*-Arten gegenüber 4-Hydroxyphenylpyruvat-Dioxygenase und Acetolactat-Synthase hemmenden Herbiziden

Benny De Cauwer*, Tim Geeroms, Sofie Claerhout, Dirk Reheul and Robert Bulcke

Ghent University, Faculty of Bioscience Engineering, Department of Plant Production, Coupure Links 653, BE-9000 Gent, Belgium

*Corresponding author, Benny.Decauwer@UGent.be



DOI 10.5073/jka.2014.443.074

Abstract

One of the possible reasons for the expansion of the alien panicoid grasses *Panicum schinzii* (Transvaal millet), *Panicum dichotomiflorum* (Fall panicum) and *Panicum capillare* (Witchgrass) in maize fields in Belgium might be a lower sensitivity to post-emergence herbicides acting against panicoid grasses, in particular those inhibiting 4-hydroxyphenyl pyruvate dioxygenase (HPPD) and acetolactate synthase (ALS). Dose-response pot experiments were conducted in the greenhouse to evaluate the effectiveness of five HPPD-inhibiting herbicides (sulcotrione, mesotrione, isoxaflutole, topramezone, tembotrione) and two ALS-inhibiting herbicides (nicosulfuron, foramsulfuron) for controlling naturalized Belgian populations of *P. schinzii*, *P. dichotomiflorum* and *P. capillare*. In another dose-response pot experiment, sensitivity of five local *P. dichotomiflorum* populations to HPPD-inhibitors and nicosulfuron was investigated. Finally, the influence of growth stage at time of herbicide application on efficacy of topramezone and nicosulfuron for *Panicum* control was evaluated. Large interspecific differences in sensitivity to HPPD-inhibiting herbicides were observed. *Panicum schinzii* was sensitive (i.e., required a three-fold lower dose than maximum authorized field dose to achieve 90% reduction in biomass) to tembotrione but moderately sensitive (i.e. required maximum field dose) to topramezone and poorly sensitive (i.e. required three-fold higher dose than maximum field dose) to mesotrione and sulcotrione. However, *P. dichotomiflorum*, a species that morphologically closely resembles *P. schinzii*, was sensitive to mesotrione and topramezone but moderately sensitive to tembotrione. *Panicum capillare* was sensitive to sulcotrione and topramezone, moderately sensitive to tembotrione and poorly sensitive to mesotrione. All *Panicum* species were sensitive to low doses of nicosulfuron and foramsulfuron. Naturalized *Panicum dichotomiflorum* populations exhibited differential herbicide sensitivity profiles. All species tested showed a progressive decrease in sensitivity to topramezone and nicosulfuron with seedling age. A satisfactory post-emergence control of *Panicum* species in the field will require appropriate choice of herbicide and dose, as well as a more timely application (i.e. before weeds reach the four leaves stage).

Keywords: Bioassay, herbicide sensitivity, leaf stage, nicosulfuron, panicoid grasses, triketone

Zusammenfassung

Einer der möglichen Gründe für die rasche Ausbreitung der standortfremden Unkrauthirsen *Panicum schinzii* (Glattblättrige Hirse), *Panicum dichotomiflorum* (Gabelästige Rispenhirse) und *Panicum capillare* (Haarästige Rispenhirse) in Maisfeldern in Belgien könnte eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Nachaufbauherbiziden sein, insbesondere 4-Hydroxyphenylpyruvat-Dioxygenase (HPPD)- und Acetolactat-Synthase (ALS)-Hemmer. Dosis-Wirkungs-Experimente wurden im Gefäßversuch im Gewächshaus durchgeführt, um die Wirksamkeit von fünf HPPD-inhibierenden Herbizidwirkstoffen (Sulcotrione, Mesotrione, Isoxaflutole, Topramezone, Tembotrione) und zwei ALS-inhibierenden Herbizidwirkstoffen (Nicosulfuron, Foramsulfuron) gegen naturalisierte belgische Populationen von *P. schinzii*, *P. dichotomiflorum* und *P. capillare* zu beurteilen. In einem weiteren Dosis-Wirkungs-Topf Experiment wurde die Empfindlichkeit von fünf lokal eingewanderten *P. dichotomiflorum*-Populationen gegenüber HPPD-Inhibitoren und Nicosulfuron untersucht. Schließlich wurde der Einfluss des Blattstadiums zum Zeitpunkt der Herbizid-Anwendung auf Wirksamkeit von Topramezone und Nicosulfuron für *Panicum*-Bekämpfung ausgewertet. Große interspezifische Unterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber HPPD-inhibierenden Herbiziden wurden beobachtet. *Panicum schinzii* war empfindlich gegenüber Tembotrione aber mäßig empfindlich gegenüber Topramezone und leicht empfindlich gegenüber Mesotrione und Sulcotrione. Dagegen war *P. dichotomiflorum* empfindlich gegenüber Mesotrione und Topramezone aber mäßig empfindlich gegenüber Tembotrione. *Panicum capillare* war empfindlich gegenüber Sulcotrione und Topramezone, mäßig empfindlich gegenüber Tembotrione und leicht empfindlich gegenüber Mesotrione. Alle *Panicum*-Arten waren empfindlich gegenüber niedrigen Dosen von

Nicosulfuron und Foramsulfuron. Eingebürgerte *Panicum dichotomiflorum*-Populationen zeigten differentielle Herbizid-Empfindlichkeitsprofile. Alle untersuchten Arten zeigten eine fortschreitende Abnahme der Empfindlichkeit gegenüber Topramezone und Nicosulfuron mit zunehmendem Blattstadium. Eine befriedigende Nachauflaufbekämpfung von *Panicum*-Arten in Maisäckern benötigt eine angemessene Wahl von Herbizid und Dosis sowie eine rechtzeitige Anwendung (das heißt vor dem Vierblattstadium).

Stichwörter: Biotest, Blattstadium, Herbizidempfindlichkeit, Nicosulfuron, Triketone, Unkrauthirsen

Introduction

The boom of maize (*Zea mays* L.) cultivation in Flanders (Belgium) that started ca. four decades ago created optimal conditions for the establishment of permanent populations of many panicoid weed grasses (e.g. *Panicum* spp., *Echinochloa* spp., *Setaria* spp., *Digitaria* spp.) in and around maize fields (VANDERHOEVEN *et al.*, 2007). Although the toolbox for weed control in maize contains an impressive variety of herbicides with different molecular modes of action (SANTEL, 2009), newly introduced and naturalizing panicoid grasses continuously complicate appropriate choice of herbicides and their dosages.

Until recently the *Panicum* species *Panicum schinzii* Hack. (Transvaal millet, native to South Africa), *P. dichotomiflorum* Michx. (Fall panicum, native to North and South America) and *P. capillare* L. (Witchgrass, native to North America) were completely overlooked in Belgium. Since 1970, these species have gradually spread and are now locally naturalized and abundant in and along maize fields, particularly on sandy soils (HOSTE and VERLOOVE, 2001; VAN LANDUYT *et al.*, 2006). *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* are morphologically hard to distinguish, particularly at early growth stages. One of the possible reasons for its expansion into maize fields, besides e.g. the lack of crop rotation (VANDERHOEVEN *et al.*, 2007), might be a lower sensitivity to post-emergence (POST) maize herbicides used to control panicoid grasses, in particular 4-hydroxyphenyl pyruvate dioxygenase (HPPD)-inhibiting herbicides and acetolactate synthase (ALS) inhibiting sulfonylureas.

These *Panicum* species are highly competitive and prolific weeds and need to be controlled soon after emergence to prevent yield loss (HOLM *et al.*, 1977). Recently, there have been many complaints about unsatisfactory *Panicum* control. Unfortunately, in sharp contrast to other naturalized panicoid grasses belonging to the genera *Echinochloa*, *Setaria* and *Digitaria*, scientific literature detailing the herbicide sensitivity is lacking for abovementioned naturalized *Panicum* species.

In the present study the following research questions were addressed: (1) Do *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* show a difference in sensitivity to maize herbicides acting against panicoid grasses, in particular HPPD- and ALS-inhibitors? (2) Do local *P. dichotomiflorum* populations vary in herbicide sensitivity? (3) What is the most optimal leaf stage for *Panicum* control?

Material and Methods

During the summer of 2011, three dose-response pot experiments were conducted in the greenhouse.

In experiment 1, the effectiveness of five foliar-applied HPPD-inhibiting herbicides [topramezone (ARIETTA[®]), mesotrione (CALLISTO[®]), tembotrione (LAUDIS[®]), sulcotrione (MIKADO[®]), isoxaflutole (Exp. product)] and two ALS-inhibiting herbicides [nicosulfuron (KELVIN[®]), foramsulfuron (EQUIP[®])] for controlling populations of *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* was evaluated. Selected *P. capillare* population was 'Herbiseed' (population purchased from the seed company Herbiseed, Twyford, UK). For *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* locally naturalized populations were used, namely 'Bellem' and 'Urself', respectively.

Although these HPPD-inhibitors are solely applied post-emergence POST in Belgian maize fields, they also have residual soil activity (BULCKE *et al.*, 1996; ROUCHAUD *et al.*, 2000; SCHÖNHAMMER *et al.*, 2006; SCHULTE and KÖCHER, 2009). For this reason, experiment 1 was also designed to investigate the relative contribution from foliar activity to weed control resulting from post applications of

HPPD- and ALS inhibitor herbicides. For this purpose, half of all pots were covered with a herbicide adsorbing film (1 mm) of activated charcoal (Aktivkohle, ROTH, Germany) shortly after sowing. The charcoal-treated pots were used to evaluate foliar activity of the applied herbicides, whereas pots without charcoal were used to evaluate total activity.

Experiment 2 was designed to evaluate the importance of intraspecific variability in herbicide sensitivity. Five geographically distinct *P. dichotomiflorum* populations (e.g. four local populations 'Bellem', 'Adegem', 'Lembeke' and 'Ursel', and one reference population 'Herbiseed') were screened for their sensitivity to four HPPD-inhibitors (mesotrione, tembotrione, sulcotrione and topramezone) and one ALS-inhibitor (nicosulfuron).

In experiment 3, the relation between weed growth stage and herbicide sensitivity was investigated by subjecting *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* plants, differing in growth stage, to foliar-applied topramezone and nicosulfuron. The same populations as in experiment 1 were used.

Experimental setup

All dose-response experiments were conducted in greenhouses using plastic pots filled with steamed sandy loam soil containing 2.2% organic matter, 51.6% silt (2-50 μm), 39.9% sand (>50 μm) and 8.6% clay with a pH-KCl of 5.7. The greenhouse was a rain-shelter plastic greenhouse, with sides left open up to 1 m high for natural ventilation. In all experiments, pots were seeded with 25 seeds per pot at 2 mm depth. As soon as seedlings had one fully developed true leaf (BBCH stage 11), they were randomly thinned to five uniform plants per pot. Daytime and night-time mean temperatures were 22.6/15.9°C, 23.0/14.3 °C and 22.9/15.9 °C during experiment 1, 2 and 3, respectively.

Pots were irrigated by overhead sprinklers as needed. The experimental design was always a randomized block with three replicates. The experimental unit was one pot of five seedlings. All herbicides were applied with TeeJet 8001EVS flat fan nozzles (TeeJet Technologies, Wheaton, USA) at a spray pressure of 300 kPa and a spray volume of 300 L ha⁻¹. Each herbicide was tested in eight doses and compared to a control as enumerated in Table 1. In experiment 1 and 2, herbicides were applied in the four (BBCH 14) and three (BBCH 13) true leaves stage, respectively. BBCH 14 is the weed growth stage at which POST herbicides are most commonly applied in Flemish maize fields. In experiment 3, topramezone and nicosulfuron were applied at four different weed growth stages: BBCH 11, one true leaf; BBCH 12, two true leaves, BBCH 13, three true leaves; BBCH 14, four true leaves. These weed growth stages were achieved by staggered sowing times.

In all bioassay experiments, foliage fresh biomass was harvested 28 days after treatment (DAT). Foliage fresh weight per pot was obtained by clipping the plants at the soil surface and weighing them.

Statistical analysis

Data obtained from POST bioassays were analysed with the Open Source language and environment R (version R2.11.1; R Development Core Team, 2010) and its dose-response curves extension package drc (RITZ and STREIBIG, 2005) based on KNEZEVIC *et al.* (2007). Foliage fresh weight data were subjected to analysis of variance; dose-response curves, ED₉₀ (dose required for 90% biomass reduction) and selectivity indices were determined using procedures by STREIBIG *et al.* (1993) and SEEFELDT *et al.* (1995). Selectivity index (SI, i.e. the ratio between ED₉₀ for one curve and ED₉₀ for another curve) was used to compare the relative differences of ED₉₀ among curves.

Tab. 1 Herbicides and their doses examined in postemergence (POST) dose-response bioassays.

Tab. 1 *Herbizide und deren Aufwandmengen untersucht in Nachauflauf Dosis-Wirkungs-Biotest.*

Herbicide (formulated product)	Herbicide dose (g ai ha ⁻¹)
<i>HPPD-inhibitors (HRAC group F2):</i>	
<u>topramezone</u> ¹ (Arietta, 336 g ai L ⁻¹ , SC, BASF Belgium)	0/1.6/3.2/6.3/12.6/25.2/50.4/100.8/201.6
<u>sulcotrione</u> (Mikado, 300 g ai L ⁻¹ , SC, Bayer CropScience)	0/15/30/60/120/240/480/960/1920
<u>tembotrione</u> ² (Laudis, 44 g ai L ⁻¹ , OD, Bayer CropScience)	0/2.75/5.5/11/22/44/88/176/352
<u>mesotrione</u> (Callisto, 100 g ai L ⁻¹ , SC, Syngenta Crop protection)	0/2.5/5/10/20/40/80/160/320
<u>isoxaflutole</u> ³ (SP102000016788, 240 g ai L ⁻¹ , SC, Bayer CropScience)	0/3.125/6.25/12.5/25/50/100/200/400
<i>ALS-inhibitors (HRAC-group B):</i>	
<u>nicosulfuron</u> (Kelvin, 40 g ai L ⁻¹ , SC, DuPont De Nemours)	0/0.63/1.25/2.5/5/10/20/40/80
<u>foramsulfuron</u> ⁴ (Equip, 22.5 g ai L ⁻¹ , SC, Bayer CropScience)	0/1.875/3.75/7.5/15/30/60/120/240

¹ 1 L ha⁻¹ triglyceride oil (Actirob B, 812 g ai L⁻¹, EC, Novance) was added to the herbicide spray solution to enhance foliar uptake and distribution within the shoot

² tembotrione was applied in combination with its safener isoxadifen-ethyl (2:1 ratio) included in the product Laudis. Laudis combines tembotrione and the safener isoxadifen-ethyl with an adjuvant system in an oil dispersion (OD) formulation

³ isoxaflutole was applied in combination with its safener cyprosulfamide (1:1 ratio) included in the experimental product

⁴ foramsulfuron was applied in combination with its safener isoxadifen-ethyl (1:1 ratio) included in the product Equip.

Results and Discussion

Experiment 1

Compared to *P. capillare*, *P. schinzii* showed significantly lower sensitivity to the foliar-applied HPPD-inhibitors sulcotrione, topramezone and isoxaflutole (Tab. 2). Compared to *P. dichotomiflorum*, *P. schinzii* was seven- to eight-fold less sensitive to topramezone and mesotrione but two-fold more sensitive to tembotrione. These differential responses may be attributed to differences in foliar uptake. However, differential herbicide metabolism and/or differential sensitivity or activity of the HPPD enzyme cannot be completely ruled out.

Furthermore, doses of sulcotrione and mesotrione required to obtain a 90% reduction in *P. schinzii* biomass, were two to three times higher than their respective maximum field doses in Belgium (Tab. 2). For topramezone the maximum field dose was required. Whereas, *P. dichotomiflorum* had ED₉₀ values equal to or less than maximum field doses. The abovementioned unsatisfactory control by some HPPD-inhibiting herbicides partly explains the rapid expansion of *P. schinzii* into Flemish maize fields (VAN LANDUYT *et al.*, 2006). This is particularly true for the widely used sulcotrione, being the first triketone herbicide introduced in 1992 into the Belgian maize market.

All *Panicum* species tested were very sensitive to low doses of the ALS-inhibiting herbicides nicosulfuron and foramsulfuron (relative to their maximum authorized field dose of 60 g a.i. ha⁻¹).

P. capillare showed significantly higher sensitivity to foliar-applied nicosulfuron as compared to *P. schinzii* and *P. dichotomiflorum* which were equally sensitive.

Tab. 2 ED₉₀ response (g a.i. ha⁻¹) with standard errors of *P. dichotomiflorum*, *P. capillare* and *P. schinzii* to postemergence HPPD- and ALS-inhibitors applied at the four true leaves stage (Experiment 1).

Tab. 2 Effektive Dosen ED₉₀ (g a.i. ha⁻¹) (mit Standardfehler) für *P. dichotomiflorum*, *P. capillare* und *P. schinzii* behandelt im 4-Blattstadium mit HPPD- und ALS-Inhibitoren (Experiment 1).

	<i>P. dichotomiflorum</i> [†] (g a.i. ha ⁻¹)	<i>P. capillare</i> [†] (g a.i. ha ⁻¹)	<i>P. schinzii</i> [†] (g a.i. ha ⁻¹)	Max. field dose (g a.i. ha ⁻¹)
<i>HPPD-inhibitors:</i>				
sulcotrione		278.3 ± 126.09a	1043.6 ± 217.59b	450
mesotrione	60.9 ± 39.18a	492.0 ± 237.86b	479.8 ± 138.71b	150
topramezone	7.5 ± 4.93a	10.4 ± 2.71a	52.2 ± 10.66b	50
tembotrione	66.0 ± 43.14ab	125.6 ± 34.18a	26.2 ± 1.65b	99
isoxaflutole		231.2 ± 84.68a	2450.5 ± 993.73b	
<i>ALS-inhibitors:</i>				
foramsulfuron		3.4 ± 0.97a	8.5 ± 1.01b	60
nicosulfuron	5.6 ± 3.23a	2.5 ± 0.37b	9.4 ± 0.83a	60

[†] No significant differences (based on computed selectivity indices and corresponding p-values) between figures with the same letter, comparison within herbicide only (Experiment 1)

In our small pot experiments with regular overhead irrigation, considerable soil activity was expected. The relative contribution from soil activity to weed control resulting from post-emergence applications was important for isoxaflutole and to a varying degree also for sulcotrione, mesotrione and tembotrione but not for topramezone and the ALS-inhibitors nicosulfuron and foramsulfuron (Tab. 3). Indeed, significantly higher ED₉₀ doses of isoxaflutole were required for plants growing in charcoal-topped pots than for plants growing in charcoal-free pots, irrespective of *Panicum* species. Significant contribution of soil activity was also found for *P. dichotomiflorum* treated with mesotrione, *P. capillare* treated with sulcotrione and tembotrione, and for *P. schinzii* treated with tembotrione.

Based on ED₉₀ response levels, sensitivity to HPPD-inhibitors and nicosulfuron varied enormously among naturalized *Panicum dichotomiflorum* populations (Tab. 4). Populations 'Adegem' and 'Herbiseed' were significantly less sensitive to mesotrione than population 'Ursel'. Population 'Bellem' was significantly more sensitive to sulcotrione than 'Adegem'. Compared to other *P. dichotomiflorum* populations tested, population 'Bellem' required a two- to three-fold higher dose of tembotrione to achieve 90% reduction in biomass. Contrary to mesotrione, sulcotrione and tembotrione, no significant intraspecific differences in ED₉₀ response were found for topramezone and nicosulfuron. This high degree of intraspecific variability in herbicide sensitivity is rather surprising for a species that only recently (end of the 1980's) became a naturalized species in Flemish maize fields. Most likely, new populations with different genetic background are continuously introduced in Flemish maize fields, thus increasing genetic variability among populations.

Tab. 3 ED₉₀ response (g a.i. ha⁻¹) with standard errors of *P. dichotomiflorum*, *P. capillare* and *P. schinzii* to post-emergence HPPD- and ALS-inhibitors. Herbicides were applied at the four leaves stage of plants growing in charcoal-topped pots(+charcoal) and in charcoal-free pots (-charcoal) (Experiment 1).

Tab. 3 Effektive Dosen ED₉₀ (g a.i. ha⁻¹) (mit Standardfehler) für *P. dichotomiflorum*, *P. capillare* und *P. schinzii* behandelt im 4-Blattstadium mit HPPD- und ALS-Inhibitoren. Behandelte Pflanzen sind gewachsen in Töpfen mit (+charcoal) oder ohne (-charcoal) Deckschicht aus Aktivkohle (Experiment 1).

Herbicide	<i>P. dichotomiflorum</i> [†]		<i>P. capillare</i> [†]		<i>P. schinzii</i> [†]	
	-charcoal	+charcoal	-charcoal	+charcoal	-charcoal	+charcoal
<i>HPPD-inhibitors:</i>						
isoxaflutole	-	-	231±70.7a	1256±660.2b	1043±356.9a	94996±175705.7b
mesotrione	49±17.1a	155±44.8b	382±188.9a	407±101.3a	459±156.9a	478±155.7a
sulcotrione	-	-	278±115.4a	1434±449.6b	884±236.0a	448±85.7a
tembotrione	67±20.0a	46±3.3a	139±30.5a	247±39.3b	26±2.8a	40±4.5b
topramezone	34±6.7a	27±5.0a	8±1.2a	8±1.2a	6±2.2a	9±2.0a
<i>ALS-inhibitors:</i>						
foramsulfuron	-	-	4±1.5a	5±1.1a	8±1.4a	10±1.3a
nicosulfuron	7±2.8a	10±1.5a	2±0.4a	3±0.2a	14±3.6a	18±4.3a

[†] No significant differences (based on computed selectivity indices and corresponding p-values) between figures with the same letter, comparison within herbicide/species combination only (Experiment 1)

Experiment 2

Tab. 4 ED₉₀ responses (g a.i. ha⁻¹) with standard errors of geographically distinct *P. dichotomiflorum* populations to foliar-applied HPPD-inhibitors (mesotrione, sulcotrione, tembotrione and topramezone) and nicosulfuron (Experiment 2).

Tab. 4 Effektive Dosen ED₉₀ (g a.i. ha⁻¹), mit Standardfehler, für geografisch getrennte *P. dichotomiflorum* Populationen behandelt mit HPPD-Inhibitoren (Mesotrione, Sulcotrione, Tembotrione und Topramezone) und Nicosulfuron aufgebracht auf das Blattwerk (Experiment 2).

Herbicide	<i>P. dichotomiflorum</i> population [†]				
	Adegem	Bellem	Herbiseed	Lembeke	Ursel
mesotrione	68.9 ± 13.1a	57.3 ± 10.44ab	79.0 ± 18.23a	55.8 ± 9.54ab	36.8 ± 9.03b
sulcotrione	186.4 ± 31.83a	105.7 ± 15.74b	177.6 ± 43.20ab	133.1 ± 23.92ab	-
tembotrione	101.4 ± 24.88a	38.6 ± 7.29b	75.1 ± 19.10a	105.9 ± 28.23a	57.7 ± 21.53ab
topramezone	10.0 ± 1.24a	10.0 ± 2.19a	3.6 ± 2.97a	9.2 ± 2.76a	11.3 ± 3.26a
nicosulfuron	7.6 ± 1.50a	5.2 ± 1.26a	6.6 ± 1.35a	9.2 ± 2.75a	-

[†] No significant differences (based on computed selectivity indices and corresponding p-values) between figures with the same letter, comparison within herbicide only (Experiment 2)

Experiment 3

The ED₉₀ response (expressed relative to ED₉₀ dose for *P. capillare* plants treated at the one leaf stage) of *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* to foliar-applied topramezone (Fig. 1) and nicosulfuron (Fig. 2) was largely dependent on growth stage. Sensitivity of *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* to topramezone (Fig. 1) decreased exponentially with increasing number of true leaves at time of herbicide application, whereas for *P. capillare* a linear decrease was found. The latter can be explained by a lower penetration, since herbicide penetration is hampered as plants age owing to the development of a thicker cuticle or altered cuticle composition (ALDRICH and KREMER, 1997). Topramezone sensitivity dropped drastically beyond the two true leaves stage for *P. schinzii* and the three true leaves stage for *P. dichotomiflorum*. Plants were two- to eleven-fold less sensitive to topramezone when treated at the four true leaves stage than at the one leaf and two true leaves stage, irrespective of *Panicum* species. When *P. schinzii* seedlings are further developed than the three leaves stage, poor control by topramezone in the field is expected even when applied at their maximum authorized field doses.

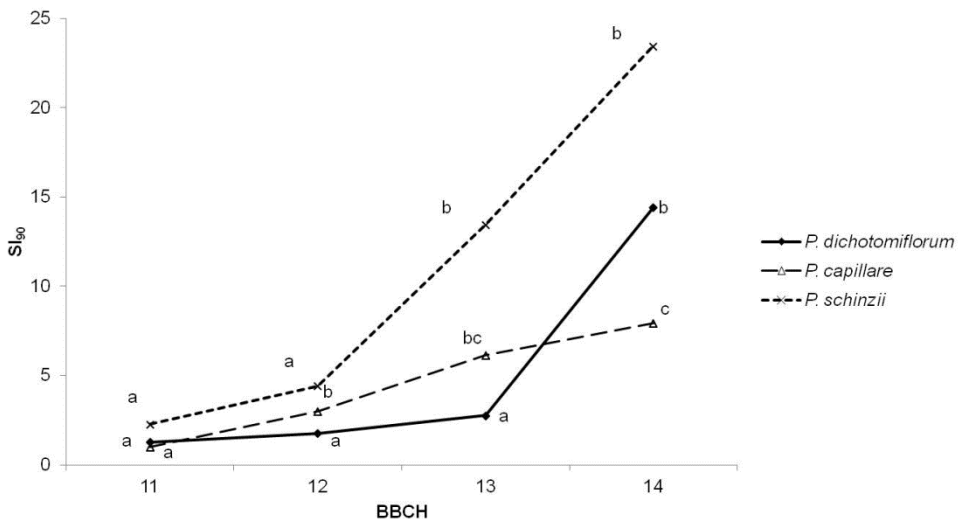


Fig. 1 Influence of growth stage on the performance of topramezone for *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii*. The performance is expressed as a SI₉₀ index, i.e. ED₉₀ dose relative to ED₉₀ response for first leaf stage plants of *P. capillare* (i.e. 2.6 g a.i. ha⁻¹ topramezone). No significant differences (based on computed selectivity indices and corresponding p-values) between data points with the same letter, comparison within species only (Experiment 3).

Abb. 1 Einfluss des Blattstadiums zur Wirksamkeit von Topramezone gegen *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* und *P. schinzii*. Die Wirksamkeit wurde ausgedrückt als Verhältnis (SI₉₀ Index) von der ED₉₀-Dosis zu der ED₉₀-Dosis für *P. capillare* behandelt im 1-Blattstadium (i.e. 2.6 g a.i. ha⁻¹ Topramezone). Keine signifikanten Unterschiede (für berechnete SI₉₀ Indizes und entsprechende p-Werte) zwischen Datenpunkten mit dem gleichen Buchstaben, Vergleich nur innerhalb der Arten (Experiment 3).

Nicosulfuron sensitivity of *P. schinzii* and *P. capillare* linearly decreased with increasing number of true leaves (Fig. 2). Contrary to *P. capillare* and *P. schinzii*, *P. dichotomiflorum* showed highest sensitivity at the two true leaves stage. However, beyond the two leaves stage, sensitivity was lowered again. *P. capillare* plants were significantly less sensitive to nicosulfuron when treated at the four leaves stage than at all other leaf stages. Four leaves stage plants of *P. schinzii* were four-fold less sensitive than plants at the one leaf stage. For *P. dichotomiflorum* sensitivity was four-fold lower at the four true leaves stage than at the two true leaves stage.

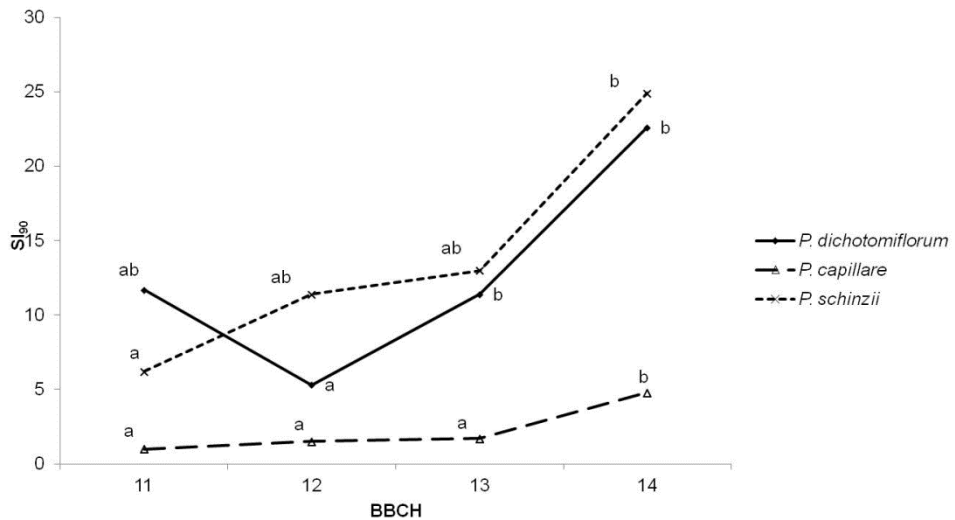


Fig. 2 Influence of growth stage on the performance of nicosulfuron for *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii*. The performance is expressed as a SI₉₀ index, i.e. ED₉₀ dose relative to ED₉₀ response for first leaf stage plants of *P. capillare* (i.e. 1.0 g a.i. ha⁻¹ nicosulfuron). No significant differences (based on computed selectivity indices and corresponding p-values) between data points with the same letter, comparison within species only (Experiment 3).

Abb. 2 Einfluss des Blattstadiums zur Wirksamkeit von Nicosulfuron gegen *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* und *P. schinzii*. Die Wirksamkeit wurde ausgedrückt als Verhältnis (SI₉₀ Index) von der ED₉₀-Dosis zu der ED₉₀-Dosis für *P. capillare* behandelt im 1-Blattstadium (i.e. 1.0 g a.i. ha⁻¹ Nicosulfuron). Keine signifikanten Unterschiede (für berechnete SI₉₀ Indizes und entsprechende p-Werte) zwischen Datenpunkten mit dem gleichen Buchstaben, Vergleich nur innerhalb der Arten (Experiment 3).

Conclusions

Where mixed populations of *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* are present in a field, difficulties may arise in the successful chemical control of *Panicum* grasses due to interspecific differences in herbicide sensitivity in particular for HPPD-inhibiting herbicides. Hence, correct identification of *Panicum* species before treatment is a prerequisite to avoid insufficient *Panicum* control. In addition, successful control of *P. capillare*, *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* largely depended on growth stage at the time of herbicide application. Sensitivity of *Panicum* seedlings to topramezone and nicosulfuron linearly or exponentially increased with increasing number of true leaves at the time of herbicide application. Poor control by topramezone and nicosulfuron in the field can be expected in circumstances where *P. dichotomiflorum* and *P. schinzii* seedlings in particular are developed beyond the three true leaves stage.

References

- ALDRICH, R.J. and R.J. KREMER, 1997: Principles in Weed Management (Second Edition), Ames, Iowa, Iowa State University Press, 455 p.
- BULCKE, R., K. COOLS, D. CALLENS and H. EELEN, 1996: Response of selected crops and weeds to soil-applied sulcotrione. Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Univ. Gent **61**(3b), 1049-1054.
- HOLM, L.G., D.L. PLUCKNETT, J.V. PANCHO and J.P. HERBERGER, 1977: The World's Worst Weeds, Distribution and Biology. Hawaii, University Press, 609 p.
- HÖSTE, I. and F. VERLOOVE, 2001: De opgang van C₄ grassen (*Poaceae*, *Panicaceae*) in de snel evoluerende onkruidvegetaties in maïsakkers tussen Brugge en Gent (Vlaanderen, België). Dumortiera **78**, 2-11.
- KNEZEVIC, S.Z., J.C. STREIBIG and C. RITZ, 2007: Utilizing R software package for dose-response studies: the concept and data analysis. Weed Technol. **21**, 840-848.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

- RITZ, C. and J.C. STREIBIG, 2005: Bioassay analysis using R. *J. Stat. Softw.* **12** (5), 1-12.
- ROUCHAUD, O., O. NEUS, K. COOLS and R. BULCKE, 2000: Dissipation of the triketone mesotrione herbicide in the soil of corn crops grown on different soil types. *Toxicol. Environ. Chem.* **77** (1,2), 31-40.
- SANTEL, H.J., 2009: LAUDIS® OD – a new herbicide for selective post-emergence weed control in corn (*Zea mays* L.). *Bayer CropSci. J.* **62**, 95-108.
- SCHÖNHAMMER, A., J. FREITAG and H. KOCH, 2006: Topramezone- ein neuer Herbizidwirkstoff zur hochselektiven Hirse- und Unkrautbekämpfung in Mais. *Zeit. Pflanzenkr. Pflanzensch.*, 1023-1031.
- SCHULTE, W. and H. KÖCHER, 2009: Tembotrione and combination partner isoxadifen-ethyl -mode of herbicidal action. *Bayer CropSci. J.* **62**(1), 35-52.
- SEEFELDT, S.S., J.E. JENSEN and E.P. FUERST, 1995: Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technol.* **9**, 218-227.
- STREIBIG, J.C., M. RUDEMO and J.E. JENSEN, 1993: Dose-response curves and statistical models. In: *Herbicide bioassays*. STREIBIG, J.C. and P. KUDSK, Boca Raton, CRC Press, 29-55.
- VANDERHOEVEN, S., N. PIERET, M. S. TIEBRE, N. DASSONVILLE, P. MEERTS, E. ROSSI, I. NIJS, M. PAIRON, A. L. JACQUEMART, L. VANHECKE, I. HOSTE, F. VERLOOVE and G. MAHY, 2006. *Invasive Plants in Belgium: Patterns, Processes and Monitoring (Inplanbel)*. Final report, Belgian Science Policy, Brussels, Belgium, 90 p.
- VAN LANDUYT, W., I. HOSTE, L. VANHECKE, P. VAN DEN BREMPT, W. VERCRUYSE and D. DE BEER, 2006: *Atlas van de Flora van Vlaanderen en het Brussels Gewest*. Instituut voor natuur- en bosonderzoek, Nationale Plantentuin van België and Flo. Wer., 826 p.

GWN-3189 B – Ein neues selektives Herbizid mit dem Wirkstoff Triallate zur Bekämpfung resistenter Ungräser in Getreide

GWN-3189 B – A new selective herbicide based on Triallate for control of herbicide resistant grass weed in cereals

Friedrich Mühlshlegel^{1*}, Luc Westerloppe¹ und John Edmonds¹

¹ GOWAN Comércio Internacional e Serviços, Limitada, Avenida do Infante 50, 9004-521 Funchal, Madeira, Portugal

*Korrespondierender Autor, fmuehlschlegel@gowanco.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.075

Zusammenfassung

Mit einer neuen CS-Formulierung bringt Gowan ein neues selektives Herbizid (GWN-3189 B) mit dem Wirkstoff Triallate auf den Markt zum Einsatz in Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale und Sommergerste. GWN-3189 B kann vom Voraufbau bis zum frühen Nachaufbau der Kultur eingesetzt werden und weist ein breites Wirkungsspektrum gegen Schadgräser auf. GWN-3189 B ist in allen Getreidearten gut pflanzenverträglich. In seiner Eigenschaft als Bodenherbizid bieten sich bei dem Mittel interessante Alternativen zum Einsatz im Resistenzmanagement. Die Wirksamkeit auf Schadgräser, insbesondere auf Ackerfuchsschwanz, Gemeinem Windhalm und Italienischem Raygras wird mit mehrjährigen Ergebnissen von Feldversuchen aus Frankreich, England und Deutschland dargestellt.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica venti*, *Lolium multiflorum*, Resistenzmanagement, Wintergetreide

Abstract

With substantial work on the formulation, Gowan offers a new herbicide (GWN-3189 B) based on Triallate for use on winter wheat, winter barley, winter rye, winter triticale and spring barley. GWN-3189B will be applied from pre-emergence to early post-emergence of the crop and offers a broad spectrum against grass-weeds. GWN-3189 B is selective on all cereal species. As soil herbicide GWN-3189 B offers interesting alternatives in grass-weed resistance management. The efficacy on grass weed, especially on *Alopecurus myosuroides* (blackgrass), *Apera spica venti* (silky bentgrass) and *Lolium multiflorum* (italian ryegrass) is demonstrated with results of field trials performed in France, Great Britain and Germany.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica venti*, *Lolium multiflorum*, resistance management, Triallate, winter cereals

Einleitung

GWN-3189 B ist ein neues, als Kapselsuspension (CS) formuliertes flüssiges Getreideherbizid und enthält den bekannten Wirkstoff Triallate mit 450 g/l. Triallate ist ein Lipid-Synthesehemmer und gehört zur chemischen Wirkstoffgruppe der Thiocarbamate und der HRAC-Gruppe N (HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE, 2013). Der Wirkstoff wurde seit der 70er Jahre in Europa hauptsächlich zur Bekämpfung von Fluhhafer (*Avena fatua*) in Getreide und Zuckerrüben eingesetzt; in den letzten 20 Jahren erfolgte die Anwendung in England und Frankreich hauptsächlich in Form von EC- und Streugranulatformulierungen zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Italienischem Raygras (*Lolium multiflorum*) und der Tauben Trepse (*Bromus sterilis*), wobei die Applikation vor der Saat und mit Einarbeitung durchgeführt werden musste. Mit der neuen CS-Formulierung ist es erstmals möglich, den Wirkstoff nach der Saat vom Voraufbau bis zum frühen Nachaufbau (BBCH 11 -13) in Getreide einzusetzen. Triallate wird primär von der Koleoptile der keimenden Gräser und sekundär von den Keimwurzeln aufgenommen und dort enzymatisch in Triallate-Sulfoxid, der aktiven Wirkstoffform, umgewandelt. Triallate-Sulfoxid verhindert die Zellteilung und das Längenwachstum der Koleoptile und führt so zum Absterben der Gräser während des Aufbaus (ANONYMUS, 2008). Bei nicht vollständig bekämpften Gräsern führt die Aufnahme des Wirkstoffs häufig zu einem anormalen Wachstum, welches sich in einer

deutlichen Wachstumsverzögerung, einer starken Reduktion des Längenwachstums und einer besonderen Empfindlichkeit gegenüber sonstiger herbizider Behandlungen zeigt.

Diese Wirkstoffeigenschaften erlauben einen Einsatz als Bodenherbizid sowohl in der Soloanwendung als auch in der Kombination mit anderen bodenwirksamen Herbiziden. Bei feuchten Bodenverhältnissen werden erwartungsgemäß die höchsten Wirkungsgrade erzielt (Moss, 2013).

Material und Methoden

Entwicklungsversuche und Zulassungsversuche wurden mit dem als Kapselsuspensionskonzentrat (CS) formulierten Herbizid GWN-3189 B in den Jahren 2010 bis 2013 in Großbritannien, Frankreich und Deutschland GEP-konform durchgeführt. In den Wirksamkeitsversuchen betrug die maximale Aufwandmenge 3,6 l/ha, in den Selektivitätsversuchen 7,2 l/ha. Dies entspricht einer Gesamtwirkstoffmenge von 1640 g bzw. 3280 g Triallate pro Hektar. Die Versuche wurden vor allem in Winterweichweizen entsprechend der relevanten EPPO- und der französischen CEB-Prüfrichtlinien durchgeführt. Die Applikationen fanden sowohl im Voraufbau (BBCH 00-09) als auch im frühen Nachaufbau der Kultur (BBCH 10-13) statt. Die der Auswertung zugrundeliegenden Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit jeweils 3-4 Wiederholungen und einer Parzellengröße von 20 bis 40 m² angelegt. Die Behandlungen wurden mit Parzellenspritzgeräten mit einer Spritzlösung von 200 bis 300 l Wasser pro Hektar durchgeführt.

Von den Selektivitätsversuchen wurden folgende Daten herangezogen:

- Kornträge in Prozent der Erträge der unbehandelten Kontrolle
- Zahl der Getreideähren pro m² absolut und in Prozent der Ährenzahl in der unbehandelten Kontrolle.

Von den Wirksamkeitsversuchen wurden folgende Daten herangezogen:

- Wirksamkeitsdaten als visuelle Schätzung der Wirksamkeit auf die Schadgräser in Prozent jeweils in Bezug auf den Unkrautdeckungsgrad in der unbehandelten Kontrolle mindestens 100 Tage nach der Anwendung.
- Wirksamkeitsangaben, berechnet aus der Zahl der ährentragenden Halme der Schadgräser pro m² in Bezug auf die entsprechende Zahl der ährentragenden Halme in der unbehandelten Kontrolle.

Ergebnisse

Mehrfährige Versuchsergebnisse zur Kulturverträglichkeit

Alle im Rahmen der Entwicklungs- und Zulassungsversuche durchgeführten Wirksamkeits- und Selektivitätsversuche zeigten für GWN-3189 B eine sehr gute Kulturverträglichkeit sowohl in den Wintergetreidearten als auch in Sommergerste. Durch die Vielzahl der Versuchsstandorte in Frankreich, England und Deutschland wurde die Selektivität unter sehr unterschiedlichen klimatischen Bedingungen, auf unterschiedlichen Böden und in zahlreichen in Europa zugelassenen Getreidesorten geprüft.

Durch die relativ hohen Niederschläge im Herbst der Jahre 2010 und 2012 waren die in Frankreich durchgeführten Selektivitätsversuche im Hinblick auf die Phytotoxizität besonders aussagekräftig. Die in den Tabellen 1 und 2 dargestellten Versuchsergebnisse sind den französischen Versuchsserien der Jahre 2010/2011 (nur Voraufbau) und 2012/2013 (Vor- und Nachaufbau) entnommen (WESTERLOPPE, 2013).

Tab. 1 Relativerträge [%] der Selektivitätsversuche im Jahr 2010/2011 nach Voraufanwendung, Mittelwerte für 3,6 und 7,2 l/ha, Frankreich, 15 Versuche.

Tab. 1 Relative yield quantity [%] of selectivity trials in 2010/2011 for pre-emergence applications, mean values for 3,6 and 7,2 l/ha, France, 15 trials.

Prüfvariante	Relativerträge nach Anwendung im Voraufanlauf (Kontrolle = 100 %) a)	
	Mittelwert	Min - Max
GWN-3189 B 3,6 l/ha (Normaldosis)	97,6	90,1 - 104
GWN-3189 B 7,2 l/ha (Doppeldosis)	96,3	84,4 - 102
VM 1 b) 2,4 l/ha (Normaldosis)	97,4	90,5 - 102,7

Weizensorten (Zahl der Versuche): Alixan (1), Altigo (2), Apache (3), Caphorn (2), Mercato (2), Soisson (2), Premio (1), PR22R58 (2)

VM 1 = Vergleichsmittel 1

Tab. 2 Relativerträge [%] der Selektivitätsversuche im Jahr 2012/2013 nach Anwendung im Voraufanlauf und frühen Nachaufanlauf (BBCH 10-12), Mittelwerte für 3,6 und 7,2 l/ha, Frankreich, 7 Versuche.

Tab. 2 Relative yield quantity [%] of selectivity trials in 2012/2013 for pre- and early post-emergence applications (BBCH 10-12), mean values for 3,6 and 7,2 l/ha, France, 7 trials.

Prüfvariante	Relativerträge (Kontrolle = 100 %)	
	Mittelwerte Voraufanlauf (Ø 4)	Mittelwerte Nachaufanlauf (Ø 3)
GWN-3189 B 3,6 l/ha (Normaldosis)	100,9	98,6
GWN-3189 B 7,2 l/ha (Doppeldosis)	99,8	102,9
VM 2+3 a) (Normaldosis)	95,9	99,6
VM 2+3 (Doppeldosis)	88,8	97,3

VM 2 = Vergleichsmittel für Anwendungen im Voraufanlauf, VM 3 = Vergleichsmittel für Anwendungen im frühen Nachaufanlauf

In allen Versuchen wurden keine statistisch gesicherten signifikanten Unterschiede zwischen den unbehandelten Kontrollen und den Prüfvarianten mit Normaldosis und Doppeldosis festgestellt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Anwendung von GWN-3189 B keine Pflanzenverluste und keine sonstigen Schäden am Getreide auftreten, die auf den Kornertrag einen negativen Einfluss haben könnten.

Trotzdem ist bei der Aussaat des Getreides, insbesondere bei Weizen, darauf zu achten, dass kein Saatgut an der Bodenoberfläche zu liegen kommt, was bei ungünstigen Witterungsbedingungen gelegentlich zu Schäden an den Getreidepflanzen führen könnte.

Mehrjährige Versuchsergebnisse zur herbiziden Wirksamkeit auf Schadgräser

Die Wirksamkeit der Zielaufwandmenge von 3,6 l/ha GWN-3189 B auf verschiedene Schadgrasarten wird in Tabelle 3 gezeigt. Die Versuchsergebnisse wurden Versuchen entnommen, die im Jahr 2012/2013 in Frankreich, Großbritannien und Deutschland durchgeführt wurden.

Die herbizide Wirksamkeit von GWN-3189 B auf die Schadgräser weist einen hohen Schwankungsbereich auf und führt bei *Alopecurus myosuroides* und bei *Lolium multiflorum* bei ungünstigen Boden- und Witterungsverhältnissen (z.B. Trockenheit) nicht immer zu einer ausreichenden Wirksamkeit. Die Anwendung des Mittels wird deshalb in der Kombination oder in der Spritzfolge mit anderen bodenwirksamen Herbiziden empfohlen, um eine zufriedenstellende Gräserbekämpfung, insbesondere von schwer bekämpfbaren Biotypen, sicherzustellen (Moss, 2013). Bei *Apera spica venti* (Gemeiner Windhalm) liegt die Wirksamkeit mit durchschnittlich 99,2 % auf einem relativ hohen Niveau, sodass eine Solo-Anwendung des Mittels unter

Praxisbedingungen ausreicht. Allerdings ist im Einzelfall bei Vorliegen herbizidresistenter Biotypen die Anwendung von Tankmischungen oder von herbiziden Spritzfolgen sinnvoll.

Tab. 3 Wirksamkeit von GWN-3189 B auf Schadgrasarten im Jahr 2012/2013 nach Anwendung im Vorauflauf und frühen Nachauflauf, 20 Versuche, Frankreich, Deutschland, Großbritannien.

Tab. 3 Efficacy of GWN-3189 B on grass weed species in 2012/2013 after application at pre-emergence and early post-emergence, 20 trials, France, Germany, Great Britain.

Grasart a)	Zahl Vers.	DAA	% Wirksamkeit PM 3,6 l/ha Vorauflauf		Anw-term. b)	VM (Nr) Aufw. menge	% Wirksamkeit VM (Zahl Versuche)	
			Mittelwert	Min-Max			Mittelwert	Min-Max
ALOMY	8	158-249	83,5	73,8-97,4	VA	(4): 4,4 l/ha	95,2 (1)	-
						(5): 5,0 l/ha	90,2 (6)	80,0-99,4
						(1): 2,4 l/ha	79,0 (1)	-
LOLMU	6	175-223	75,4	50,2-93,1	VA	(5): 5,0 l/ha	76,5	34,1-100
POAAN	3	62-255	85,0	62,5-100	NAH	(6): 1,0 l/ha	48,0 (2)	0-100
					VA	(8): 0,4 l/ha	100 (1)	
APESV	4	196-226	99,2	96,6-100	VA	(4): 4,4 l/ha	98,7	96,6-100

ALOMY = *Alopecurus myosuroides*, LOLMU = *Lolium multiflorum*, POAAN = *Poa annua*, APESV = *Apera spica venti*

VA = Vorauflauf, NAH = früher Nachauflauf (BBCH 12)

DAA = days after application, PM = Prüfmittel, VM = Vergleichsmittel

Wie weitere Versuchsergebnisse aus Frankreich zeigen, ist die herbizide Wirksamkeit von GWN-3189 B stark von den vorherrschenden klimatischen Bedingungen abhängig, insbesondere von den Niederschlägen und der Bodenfeuchtigkeit (WESTERLOPPE, 2013). Während im vornehmlich trockenen Herbst 2011 die Wirksamkeit auf Ackerfuchsschwanz und Italienischem Raygras zu wünschen übrig ließ, wurden in Folge der feuchten Witterungsbedingungen im Herbst 2012 deutlich höhere Wirkungsgrade erzielt, sowohl bei der Anwendung im Vorauflauf als auch bei der Anwendung im frühen Nachauflauf. Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 4 und 5 zusammengestellt.

Tab. 4 Wirksamkeit von GWN-3189 B auf Ackerfuchsschwanz nach Anwendungen im Vorauflauf und frühen Nachauflauf in den Jahren 2011/2012 und 2012/2013, Frankreich, 9 Versuche.

Tab. 4 Efficacy of GWN-3189 B on blackgrass in 2011/2012 and 2012/2013 after applications at pre- and early post-emergence, France, 9 trials.

Prüfvariante / Anwendungstermin	Herbizide Wirksamkeit in % (Mittelwert)	
	2011/2012 (5 Versuche)	2012/2013 (4 Versuche)
GWN-3189 B 3,6 l/ha Vorauflauf	32	53
GWN-3189 B 3,6 l/ha früher Nachauflauf-Herbst	43	59

Tab. 5 Wirksamkeit von GWN-3189 B auf Italienisches Raygras nach Anwendung im Voraufbau und frühen Nachaufbau in den Jahren 2011/2012 und 2012/2013, Frankreich, 8 Versuche.

Tab. 5 Efficacy of GWN-3189 B on Italian Rye-grass in 2011/2012 and 2012/2013 after applications at pre- and early post-emergence, France, 8 trials.

Prüfvariante / Anwendungstermin	Herbizide Wirksamkeit in % (Mittelwert)	
	2011/2012 (3 Versuche)	2012/2013 (5 Versuche)
GWN-3189 B 3,6 l/ha Voraufbau	40	50
GWN-3189 B 3,6 l/ha früher Nachaufbau-Herbst	27	48

Tab. 6 Wirksamkeit von GWN-3189 B auf Gemeiner Windhalm nach Anwendung im Voraufbau und frühen Nachaufbau in 2012/2013, Deutschland, 5 Versuche.

Tab. 6 Efficacy of GWN-3189 B on Silky Bent-grass in 2012/2013 after applications at pre- and early post-emergence, Germany, 5 trials.

Prüfvariante	Herbizide Wirksamkeit in %			
	Anwendung Voraufbau		Anwendung früher Nachaufbau	
	Mittelwert	Min-Max	Mittelwert	Min-Max
GWN-3189 B 2,7 l/ha	91,5	73,8-100	-	-
GWN-3189 B 3,6 l/ha	94,9	72,0-100	94,2	79,3-100
VM 9 4,0 l/ha	91,7	69,5-100	-	-
VM 10 2,0 l/ha	98,6	97,8-99,3	-	-
GWN-3189 B + VM9 3,6 + 2,0 l/ha	99,5	98,2-100	99,6	98,8-100

Bereits mit einer um 30 % reduzierten Aufwandmenge konnte mit GWN-3189 B der Gemeine Windhalm im Voraufbau zu über 91 % bekämpft werden; mit der vollen Zielaufwandmenge wurden im Durchschnitt der Versuchsserie nahezu 95 % erzielt. Auch bei Anwendung im frühen Nachaufbau war die Wirksamkeit nur marginal geringer, was darauf hinweist, dass für das Mittel ein größeres Anwendungsfenster als bei Ackerfuchsschwanz gegeben ist. Mit den eingesetzten Vergleichsmitteln wurden durchschnittlich 91,7 bzw. 98,6 % Wirksamkeit erzielt; in Tankmischung von GWN-3189 B mit dem Vergleichsmittel 9 wurden weitere Wirkungsverbesserungen erreicht, was beim Auftreten Herbizid-resistenter Windhalm-Biotypen von Bedeutung sein kann.

Synergistische Wirkung bei Anwendung von GWN-3189 B in Kombination mit anderen Herbiziden

Bei der Bekämpfung von Schadgräsern in Getreide ist eine Anwendung von GWN-3189 B in Kombination oder in Spritzfolge mit anderen Herbiziden im Rahmen eines Resistenzmanagements sinnvoll, um einen hohen Wirkungsgrad zu erzielen. Dieser ist insbesondere dort erforderlich, wo mit blattwirksamen Herbiziden der HRAC-Gruppen A und B wegen auftretender Resistenz keine zufriedenstellenden Bekämpfungserfolge mehr erzielt werden und ein weiteres Ausbreiten der resistenten Gräser verhindert werden muss.

Bei der Anwendung von GWN-3189 B in Kombination oder in Spritzfolge mit anderen selektiven Herbiziden zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz und Italienischem Raygras wurden in der Regel hohe Wirkungsgrade erzielt. Der Nachweis einer synergistischen Wirkung von Tankmischungen oder Spritzfolgen wurde mit Hilfe der Colby-Formel (COLBY, 1967) in Versuchen zur Raygras- und Ackerfuchsschwanz-Bekämpfung in Frankreich erbracht:

Erwartete Wirksamkeit der Herbizidtankmischung oder Spritzfolge in % = $X + Y - (XY / 100)$. X und Y sind die im Versuch festgestellten Wirksamkeiten der einzelnen Herbizide bei Soloanwendung in % .

Die in den Versuchen festgestellten sowie die nach Colby berechneten/erwarteten Wirksamkeiten sind in den Tabellen 7 - 9 dargestellt.

Tab. 7 Nachweis der synergistischen Wirkung von GWN-3189 B in Tankmischung mit einem Bodenherbizid auf Italienisches Raygras bei Anwendung im frühen Nachauflauf (BBCH 11), Frankreich, 2 Standorte.

Tab. 7 *Synergistic effect of GWN-3189 B in tankmix with a soil active herbicide on Italian Ryegrass, applied at early post-emergence (BBCH 11), France, 2 trial sites.*

Herbizideinsatz	Bonitur / Berechnung	Wirksamkeit in %	
		Standort Boran 2011/2012	Standort Bouville 2012/2013
GWN-3189 B	Bonitur	34	40
VM 3	Bonitur	59	48
GWN-3189 B + VM 3	Bonitur	97	75
GWN-3189 B + VM 3	Berechnung nach Colby	73	69
Synergistischer Wirkungsgewinn		25	7

Tab. 8 Nachweis der synergistischen Wirkung von GWN-3189 B in Spritzfolge mit einem Herbizid auf Italienisches Raygras bei Anwendung im Vorauflauf und Nachauflauf, Frankreich, 2 Standorte.

Tab. 8 *Synergistic effect of GWN-3189 B in spraying program with a leaf-active herbicide on Italian Ryegrass, applied at pre- and post-emergence, France, 2 trial sites.*

Herbizideinsatz	Bonitur / Berechnung	Wirksamkeit in %	
		Standort Boran 2011/2012	Standort Venon 2012/2013
GWN-3189 B VA	Bonitur	34	30
VM 7 NAH	Bonitur	22	54
GWN-3189 B + VM 7	Bonitur	99	87
GWN-3189 B + VM 7	Berechnung nach Colby	48	68
Synergistischer Wirkungsgewinn		51	19

Tab. 9 Nachweis der synergistischen Wirkung von GWN-3189 B in Tankmischung und Spritzfolge mit einem Vergleichsmittel auf Ackerfuchsschwanz bei Anwendung im Vorauflauf und Nachauflauf, Frankreich, 1 Standort.

Tab. 9 *Synergistic effect of GWN-3189 B in tankmix and in a spraying program with a soil-active reference product on Black-grass when applied at pre- and post-emergence, France, 1 trial site.*

Herbizideinsatz	Bonitur / Berechnung	Wirksamkeit in %	
		Standort Poilcourt-Sydney 2012/2013	Synergistischer Wirkungsgewinn
GWN-3189 B VA	Bonitur	30	-
GWN-3189 B NAH	Bonitur	46	-
VM 3 NAH	Bonitur	85	-
GWN-3189 B NAH + VM 3 NAH	Bonitur	98	6
	Ber. nach Colby	92	
GWN-3189 B VA + VM 3 NAH	Bonitur	96	6
	Ber. nach Colby	90	

Die Beispiele zeigen deutlich, dass auch unter ungünstigen Bedingungen mit hohem Unkrautdruck (Poilcourt-Sydney: ALOMY 377 Ähren tragende Halme/m²) und limitierenden Niederschlägen (Boran) ein synergistischer Herbizideffekt auftritt, wenn GWN-3189 B in Kombination oder in Spritzfolge mit anderen boden- bzw. blattwirksamen Herbiziden eingesetzt wird. Je nach Mischpartner bzw. Folgeherbizid werden Wirksamkeiten auf Schadgräser und dikotyle Unkräuter erzielt, die 95 % und mehr erreichen.

Diskussion

Die Bekämpfung von Schadgräsern in Getreidebeständen wird mit zunehmender Resistenz der Grasarten gegenüber blattaktiven Herbiziden immer schwieriger. Der Wirkstoff Triallate bietet mit seinen biologischen und chemischen Eigenschaften die Möglichkeit zu einem Wirkstoffwechsel bei der Ungrasbekämpfung und verhindert dadurch die frühzeitige Entwicklung und die weitere Ausbreitung von resistenten Biotypen.

Durch die gute Kulturverträglichkeit von GWN-3189 B gegenüber den Winter- und Sommergetreidearten und seine besondere Wirksamkeit auf Schadgräser, wie Ackerfuchsschwanz, Gemeiner Windhalm, und Italienisches Raygras, eignet sich das Mittel vorzüglich zum Einsatz in Resistenz Management Programmen. In Folge des frühzeitigen Ausschaltens hoher Schadgraspopulationen nach Anwendung von bodenwirksamen Herbiziden wird der Unkrautdeckungsgrad für den Einsatz eventuell nachfolgender blattaktiver Herbizide deutlich vermindert und so der Bekämpfungserfolg dieser Spritzfolgen maßgeblich verbessert. GWN-3189 B stellt somit in diesen Spritzprogrammen einen wichtigen Baustein dar.

Die nachgewiesenen Synergismen im Bezug auf die Wirksamkeit von Tankmischungen oder Spritzfolgen erfordern weitere Tests mit den zugelassenen Herbiziden als Tankmischpartner oder Spritzfolgepartner. Die relativ hohe Wirksamkeit von GWN-3189 B mit einer Zielaufwandmenge von 3,6 l/ha auf den Gemeinen Windhalm lässt auch eine Reduzierung der Mittelaufwandmenge möglich erscheinen, wenn das Mittel in Kombination mit anderen Herbiziden eingesetzt wird.

Bemerkenswert sind auch die Nebenwirkungen auf dikotyle Unkräuter, wobei die Wirkungsgrade je nach Unkrautart 80 % und mehr erreichen können. Der kombinierte Einsatz von GWN-3189 B mit entsprechenden Tankmischpartnern lässt deshalb auch bei dikotylen Unkräutern eine deutliche Wirkungsverbesserung erwarten.

Literatur

- ANONYMUS, 2008: Conclusion on the peer review of tri-allate. EFSA Scientific report, 181, 1-100.
- COLBY, S. R., 1967: Calculation Synergistic and Antagonistic Responses of Herbicide Combinations. *Weeds* **15**(1), 20-22.
- HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (HRAC), 2013: Classification of herbicides according to site of action. Website, <http://www.weedscience.org/summary/Herbicide.aspx>, 08. Oktober 2013.
- MOSS, S., 2013: Black-grass (*Alopecurus myosuroides*), everything you really wanted to know about black-grass but didn't know who to ask. Rothamsted technical publication.
- WESTERLOPPE, L., 2013: HGB-01, un nouvel outil pour le contrôle des graminées dans le blé tendre d'hiver. AFPP, 22e Conférence du Columa, Journées Internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon.

KYLEO® - Wirkungsweise unter der Lupe

Kyleo® - mode of action under examination

Dagmar Heibertshausen^{1*}, Manfred Konrad¹ und Tobias Diehl¹

¹Nufarm Deutschland GmbH, Im MediaPark 4e, 50670 Köln

*Korrespondierender Autor, dagmar.heibertshausen@de.nufarm.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.076

Zusammenfassung

Kyleo® stellt mit zwei bekannten Wirkstoffen ein innovatives und modernes Herbizid zum aktiven Resistenzmanagement dar. In Kyleo® sind 160 g/L 2,4-D und 240 g/L Glyphosat enthalten. Kyleo® zeigt bei einer Aufwandmenge von 5,0 l/ha eine deutlich bessere und schnellere Wirkung auf Unkräuter wie Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) und Ausfallraps (*Brassica napus*) sowie Gemeine Quecke (*Agropyron repens*) gegenüber Tankmischungen aus Produkten, die die Einzelwirkstoffe enthalten, sowie dem Glyphosat-Referenzprodukt (RP; 450g/L SL) 450er Glyphosat (SL). Wie ist das erklärbar? Die Antwort liegt in einer einzigartigen neuen Formulierungstechnologie, die erstmals 2,4-D als Säure und Glyphosat als Monoisopropylamine (MIPA) Salz zusammen mit einem Formulierungshilfsstoff (FHS) kombiniert. Die neue Form von 2,4-D hat lipophile Eigenschaften, d.h. eine bessere Blattaufnahme sowie einen stärkeren photolytischen Abbau in den oberen Bodenschichten gegenüber glyphosathaltigen Produkten. Ferner konnte in Versuchen mit radioaktiv markierten Wirkstoffen die systemischen Eigenschaften beider Wirkstoffe gegenüber dem RP nachgewiesen werden. Die Verlagerung von 2,4-D konnte 48 Stunden nach Behandlung in den Wurzelbereich der Pflanzen gezeigt werden. Eine 98 %-ige Glyphosat-Aufnahme in Raps und Quecke wurde beobachtet, die 10 % (Raps) bzw. 25 % (Quecke) höher lag als beim RP. Diese stärkere Aufnahme der Wirkstoffe zeichnet sich in einer schnelleren Wirkung – stärkere, sichtbare Symptome nach 24 h (Raps) und 96 h (Quecke) – gegenüber dem RP aus. Die Regenfestigkeit von Kyleo® wurde im Gewächshaus (GH) mit Raps getestet. Zur Vergleichbarkeit der Prüfmittel wurde mit einer einheitlichen Glyphosatmenge von 360 g/ha und einem simulierten Niederschlag von 10 l/m² gearbeitet. Bei einer Beregnung 1 hpt konnte eine um 24 % bessere Wirkung im Vergleich zum RP nachgewiesen werden. Wohingegen bei einer Regensimulation nach 6 hpt eine um 4 % bessere Wirkung zu verzeichnen war. In GH-Versuchen mit Weizen (*Triticum aestivum*) und einer identischen Glyphosataufwandmenge von 290 g/ha zeigten sich bei Regensimulation 1 hpt und 6 hpt Wirkungsunterschiede von 23 % und 22 % in Bezug zum RP. Die hier dargestellten Ergebnisse belegen eine systemische Wirkungsweise, eine gute Regenfestigkeit und eine schnelle Wirkung von Kyleo®.

Stichwörter: Nicht selektives, systemisches Herbizid, Glyphosat, 2,4-D, Regenfestigkeit, Wirkstoffaufnahme, Wirkstoffverteilung

Abstract

Kyleo® with two known active substances (ai) is an innovative, modern herbicide for resistance management. Kyleo® contains 160 g/l 2,4-D and 240 g/l glyphosate. With an application rate of 5,0 l/ha, it shows a far better, faster effect on weeds such as field horsetail (*Equisetum arvense*), volunteer oilseed rape (*Brassica napus*) and couch grass (*Agropyron repens*) compared to a tank mix or the reference products (RP). This is explained by a unique new formulation technology that for the first time combines 2,4-D as acid and glyphosate as MIPA salt together with FHS. The new form of 2,4-D is lipophilic with better leaf absorption and greater photolytic degradation in the upper layers of soil. Tests with radioactive marked substances have verified the systemic properties of both ai compared to RP. The displacement of 2,4-D into the plant roots was demonstrated 48 h after application (hpt). 98% glyphosate absorption was observed in rape and couch grass – 10% (rape) respectively 25% (couch grass) greater than with RP. Higher absorption of the ai is characterised by a swifter effect, with stronger, visible symptoms after 24 h in rape and 96 h in couch grass. The rainfastness of Kyleo® was tested in greenhouse (GH) trials with rape. Comparability of the test objects was simulated with a uniform glyphosate quantity of 360 g/ha and 10 l/m² simulated precipitation. 24% improved effect compared to RP was verified for 1 hpt rainfall, while 4% improved effect was recorded for rain simulation after 6 hpt. GH trials with wheat and a comparable glyphosate application quantity of 290 g/ha revealed differences of 23% and 22% compared to RP for rain simulation of 1 hpt and 6 hpt. Kyleo® stands out with a swift effect and better rainfastness. The results presented here prove a systemic mode of action, good rainfastness and swift effect of Kyleo.

Keywords: Non selective, systemic herbicide, glyphosate, 2,4-D, rainfastness, translocation of active ingredient, uptake of active ingredient

Einleitung

In zwei Experimenten wurden die Regenfestigkeit und die Verteilung von Kyleo[®] untersucht. Das neue Produkt Kyleo[®] welches 160 g/L 2,4-D und 240 g/L Glyphosat enthält, zeigte in Versuchen bei einer Aufwandmenge von 5,0 l/ha eine deutlich bessere und schnellere Wirkung auf Unkräuter wie Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) und Ausfallraps (*Brassica napus*) sowie Gemeiner Quecke (*Agropyron repens*) gegenüber einer Tankmischung der einzelnen Wirkstoffe (ZINK *et al.*, 2012). Mit den im Folgenden beschriebenen Experimenten wurde die Wirkungsweise der neuen Formulierung, die erstmals 2,4-D als Säure und Glyphosat als MIPA-Salz zusammen mit FHS kombiniert, beschrieben. Die neue Form von 2,4-D hat lipophile Eigenschaften, d.h. eine bessere Blattaufnahme sowie einen stärkeren photolytischen Abbau in den oberen Bodenschichten.

Material und Methoden

Versuch zur Verteilung von Kyleo[®] in Raps und Quecke

Ein Gewächshausversuch an Raps (*Brassica napus*) und Gemeiner Quecke (*Agropyron repens*) wurde durch Plant Protection Chemistry_{NZ} Ltd. (Neuseeland) durchgeführt, um mit radioaktiv markiertem Glyphosat in Kyleo[®] die Aufnahme und Verteilung zu ermitteln. Die verwendeten Lösungen enthielten < 0,1 % [¹⁴C] markiertes Glyphosat. Die Anzucht der Rapspflanzen (1 Pflanze/Topf; 7 x 7 cm) erfolgte bei 20/15 °C Tag/Nacht-Temperaturen für 4 Wochen bis zum BBCH 14-Stadium. Vor der Applikation wurden die Töpfe bis zur Feldkapazität gewässert und bis zur Ernte im gut gewässerten Stadium belassen. Die Quecke-Pflanzen wurden aus Rhizomen bis BBCH 14 angezogen. Um nur zwei Bestockungstrieb zum Applikationszeitpunkt zu erhalten, wurde wenn notwendig ausgedünnt. Die Applikation erfolgte zwei bis drei Stunden nach Start der Fotoperiode durch Tropfenapplikation (10 x 0,24 µl pro Blatt) in die zentrale, adaxialen Region (ohne Hauptader) der jüngsten frisch ausgebildeten Blätter. Die Aufwandmenge der Lösung entsprach 100 l/ha. Für die quantitative Bestimmung des applizierten radioaktiv markierten Glyphosats wurden 10 Tropfen direkt in kleine Szintillationsampullen gegeben, um Referenzwerte bestimmen zu können. Die Pflanzen wurden 48 Stunden (Raps) und 96 Stunden (Quecke) nach der Behandlung geerntet und in Abschnitten (behandeltes Blatt, jünger als und älter als behandeltes Blatt) untersucht. Phytotoxische Effekte wurden ebenfalls aufgenommen. Der Gehalt des [¹⁴C] Glyphosats wurde als Differenz der ausgebrachten und der abgewaschenen Menge berechnet. Bei den Autoradiographie-Untersuchungen, die mit einer höheren Aufwandmenge durchgeführt wurden (hier: 0,2 µCi in 10(x 0,24 µl) Tropfen), wurde die Applikation der Tropfen bei Quecke in den mittleren-Bereich des Blattes und bei Raps ab Mittelrippe nach außen appliziert und mit einer zweifachen Wiederholung gearbeitet. Für die Verteilung von 2,4-D wurde das Produkt U 46 D-Fluid mit 2,4-D acid-carboxy-¹⁴C (Sigma, specific activity 20,3 mCi/mmol) in Anlehnung an die Glyphosat-Versuche angewendet. Die Pflanzen wurden 48 hpt (Raps) und 96 hpt (Quecke) geerntet und mit einer Zellulose-actetat Behandlung wurden die obersten Wachsschichten entfernt, die die nicht aufgenommenen Herbizidrückstände enthalten. Die ganzen Pflanzen wurden für 7-10 Tage getrocknet und auf dem Röntgenstrahlen -Film (Super RX, Fujifilm) für 15 Tage in die Röntgenstrahlen Kassette (Kodak) bei Raumtemperatur belassen. Mit dieser bildgebenden Methode kann die Wirkstoffaufnahmen und Verteilung in den Pflanzen dargestellt werden.

Versuch zur Regenfestigkeit

Ein Gewächshausversuch mit Winter-Weichweizen (Sorte Cordiale) und Winterraps (Sorte Castille) mit unbehandeltem Saatgut von Walnes Seeds, Farmingham, Suffolk wurde durch Adhams Farm Research Station (UK) durchgeführt. Die Aussaat erfolgte in 7 x 7 x 8 cm 290 ml (Desch Plantpak NL 20030). Das Versuchsdesign war eine randomisierte Blockanlage mit 6 Wiederholungen (6 Weizenpflanzen/Topf und 4 Rapspflanzen/Topf). Die Behandlung erfolgte 15 Tage (Weizen: 12-13

BBCH) und 10 Tage (Raps: 12 BBCH) nach Anzucht mittels Kabinenapplikation mit TeeJet Düsen des Typs: 8005EVS 80° bei einer Geschwindigkeit von 2,4 m/s und 5,0 bar bei einer Applikationshöhe von 0,65 m über Boden und 200 l/ha. Zur Vergleichbarkeit wurden die Prüfmittel mit einer identischen Wirkstoffmenge von 360 g/ha Glyphosat und 290 g/ha Glyphosat bei der Behandlung der Weizenpflanzen bzw. Rapspflanzen verwendet. Die Regensimulation erfolgte mittels AgroChemex mit FullJet 1/8GG 1.5 W 4 Düsen, die 3,5 m über den Töpfen angebracht wurden. Die Testpflanzen wurden mit einer 10 l/m² simulierten Niederschlagsintensität beregnet.

Abkürzungen

MIPA= Mono-isopropylamine

FHS= Formulierungshilfstoff

hpt=Stunden nach Behandlung

GH=Gewächshaus

RP=Referenzprodukt

Cv=Cultivar

® Registrierte Marke der Nufarm Gruppe

Ergebnisse

Versuch zur Verteilung von Kyleo® in Raps und Quecke

Die Aufnahme-Geschwindigkeit und die Verteilung in der Pflanze stellten sich bei Raps 48 hpt bei Kyleo® mit 98,2 % vs. 85,4 % zu 450er Glyphosat (SL) und im Vergleich zur Tankmischung aus Glyphosat und 2,4-D mit 76,1 % und einer Tankmischung mit einem zusätzlichem FHS Surf 2000 mit 83,6 % dar. Die Aufnahme bei Quecke lag für Kyleo bei 97,5 % im Vergleich zu 62,0 % und 60,0 % für die Tankmischungen ohne und mit Surf 2000. Die Verteilung innerhalb der Pflanzen Raps und Quecke zeigen Tabelle 1 und 2, die die Herbizid Verteilungen in den Pflanzen als Prozent radioaktiv markiertes Glyphosat darstellen.

Tab. 1 Effekt der Behandlung auf die Verteilung des [14c] Glyphosats in Raps nach 48 hpt.

Tab. 1 Effect of treatment on distribution of [14C]-glyphosate in OSR at 48 hpt.

Behandlung	Behandlung Blatt	Jüngere Blätter	Ältere Blätter	Wurzeln ¹	Total% Translokation ²
Kyleo®	47,6 ab	6,9 a	6,4 a	37,3 a	50,6 a
450er SL Glyphosat + U 46 D-fluid	36,2 c	5,1 b	4,3 ab	30,5 a	39,9 ab
450er SL Glyphosat + U 46 D-fluid + Surf 2000	52,8 a	3,1 c	3,5 b	24,3 a	30,9 b

Mittelwerte, die die gleiche Buchstabenkennzeichnung aufweisen sind nicht signifikant verschieden (P_{0,05}, LSD test)

¹durch Unterschiede (Referenzmethode) ²aus dem behandelten Blatt.

Tab. 2 Effekt der Behandlung auf die Verteilung des [¹⁴C] Glyphosats in Quecke nach 96 hpt.

Tab. 2 (Effect of treatment on distribution of [¹⁴C]-glyphosate in couch grass at 96 hpt).

Behandlung	Behandl. Blatt	Jüngere Blätter	Ältere Blätter	Wurzeln ¹	Total% Translokation ²
Kyleo®	49,5 a	0,11 a	0,73 a	47,2 b	48,0 b
450er SL Glyphosat + U 46 D-fluid	15,2 b	0,06 ab	0,35 a	46,5 b	46,9 b
450er SL Glyphosat + U 46 D-fluid + Surf 2000	17,2 b	0,01 b	0,86 a	42,0 b	42,8 b

Mittelwerte, die die gleiche Buchstabenkennzeichnung aufweisen sind nicht signifikant verschieden ($P_{0,05}$, LSD test)

¹durch Unterschiede (Referenzmethode) ²aus dem behandelten Blatt.

Versuch zur Regenfestigkeit

In den Tabellen 3 und 4 sind die Wirkungen des Produktes Kyleo® im Vergleich zu einem handelsüblichen 450er Glyphosat (SL) dargestellt. Die Regenfestigkeit nach Regensimulation von 10 l/m² Niederschlag nach 1 hpt und 6 hpt an Weizen- und Raps-Pflanzen im Gewächshaus im Vergleich zur nicht berechneten Variante sind dargestellt.

Tab. 3 Wirksamkeit der Testprodukte an Weizen nach 10 l/m² Regensimulation als Kennzeichen der Regenfestigkeit.

Tab. 3 (Efficacy of the test products on wheat after 10mm rain simulation as indication of rainfastness).

% Wirkung (Trockengewicht)	Regen 1 hpt	Regen 6 hpt	Kein Regen
Kyleo	69	68	89
450er SL Glyphosat	46	46	63

Tab. 4 Wirksamkeit der Testprodukte an Raps nach 10 l/m² Regensimulation als Kennzeichen der Regenfestigkeit.

Tab. 4 Efficacy of the test products on wheat after 10mm rain simulation as indication of rainfastness.

% Wirkung (Trockengewicht)	Regen 1 hpt	Regen 6 hpt	Kein Regen
Kyleo	99	99	99
450er SL Glyphosat	75	95	97

Diskussion

Versuch zur Verteilung von Kyleo® in Raps und Quecke

Die Glyphosat-Aufnahme in diesem Experiment mit knapp über 75 % nach 48 hpt liegt in dem zu erwartendem Bereich der Aufnahmerate (LIU und ZABKIEWICZ, 1997; LEAPER und HOLLOWAY, 2000). Die häufig in Freilandversuchen zu beobachtende Minderwirkung der Mischung Glyphosat und 2,4-D in Tankmischungen stellte sich hier bei der Mischung von 450er SL Glyphosat mit 2,4-D ebenfalls ein, die erst durch Zugabe eines Adjuvants wieder ausgeglichen wurde. Demgegenüber ist die Aufnahme von 98 % bei Kyleo signifikant besser. Generell ist die Geschwindigkeit der Aufnahme von Glyphosat ein Indiz für die Regenfestigkeit der Formulierung (FENG *et al.*, 2000). Die schnellere Aufnahme des Produktes Kyleo® im Vergleich zu den anderen Testprodukten vermittelt den Eindruck einer besseren Regenfestigkeit, die in dem zweiten Experiment untersucht wurde. Bei der

Verlagerung verhielten sich alle Varianten im gleichen Muster, d.h. ein großer Teil wurde in die Wurzeln verlagert und ein kleiner Anteil wurde akropetal in jüngeres Gewebe verlagert (Tab. 1). Dieses Verteilungsmuster ist für den Wirkstoff Glyphosat zu erwarten (FENG *et al.*, 1999). Die Formulierungsvorteile zeigten sich auch in der stärksten Translokation mit 50 % und einer insgesamt höheren Verteilung in alle untersuchten Pflanzenteile. Die damit verbundenen Wirkungsvorteile zeigten sich in verstärkten phytotoxischen Effekten, die auf die erhöhte Aufnahme zurückzuführen sind. In den Versuchen an Quecke wurde insgesamt eine höhere Aufnahmerate über 60% bei allen Varianten beobachtet, wobei die Variante mit Kyleo bei knapp 100 % nach 96 hpt lag. Wie zuvor bei Raps beschrieben wurden an Quecke ebenfalls die Minderaufnahme /-wirkung durch Zugabe von 2,4-D beobachtet. Die phytotoxischen Effekte waren in diesem Experiment in den Varianten, die 2,4-D enthielten, stärker – insbesondere bei Kyleo®. Die Verteilung innerhalb der Pflanze verlief hier unterschiedlicher, da besonders bei Kyleo® der größte Anteil im behandelten Pflanzengewebe verblieb. Des Weiteren konnte bei Quecke die akropetale Verteilung ebenfalls in einem geringeren Anteil beobachtet werden. Wohingegen der größte Anteil in das Wurzelgewebe verlagert wurde, was bei einem Wurzelunkraut sehr bedeutend ist (Tab. 2). Durch Röntgenstrahlungsversuche konnte die Verlagerung des Wirkstoffs 2,4-D in den Wurzelbereich aus dem behandelten Pflanzengewebe gezeigt werden, die sich in dem Synergismus von beiden Wirkstoffen im Produkt Kyleo® widerspiegelt.

Versuch zur Regenfestigkeit

Die Aufnahme- und Verteilungseigenschaften der Formulierung Kyleo® deuten auf eine bessere Regenfestigkeit hin (FENG *et al.*, 2000). Dies wurde in einem Gewächshausversuch mit Rapspflanzen überprüft. Zur Vergleichbarkeit der Testobjekte wurde mit einer einheitlichen Glyphosatmenge von 360 g/ha (entsprechend 1,5 l/ha Kyleo, bzw. 1,25 l/ha 450er Glyphosat (SL) und 10 l/m² Niederschlag simuliert. Bei einer Beregnung 1 hpt konnte eine um 24 % bessere Wirkung im Vergleich zum 450er Glyphosat (SL) nachgewiesen werden. Wohingegen bei einer Regensimulation nach 6 hpt eine um 4 % bessere Wirkung zu verzeichnen war. In Gewächshausversuchen mit Weizen und einer vergleichbaren Glyphosataufwandmenge von 290 g/ha zeigten sich bei Regensimulation 1 hpt und 6 hpt Wirkungsunterschiede von 23 % und 22 % in Bezug zum 450er Glyphosat (SL). Mit diesem Versuch konnte gezeigt werden, dass Kyleo® sich durch eine schnelle Wirkung und bessere Regenfestigkeit auszeichnet.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die neue Formulierung Kyleo® in den Experimenten die stärkste Aufnahme der Wirkstoffe sowie die effektivste Ausbreitung innerhalb der Pflanzen im Vergleich zu den weiteren Prüfmitteln zeigte. Dies besonderen Eigenschaften führten in Freilandexperimenten bei einer Aufwandmenge von 5,0 l/ha zu einer deutlich besseren und schnelleren Wirkung auf Unkräuter wie Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) und Ausfallraps (*Brassica napus*) sowie Quecke (*Agropyron repens*) gegenüber einer Tankmischung oder dem Referenzprodukt (ZINK *et al.* 2012).

Literatur

- FENG ,P.C.C., J.E. PRATLEY und J.A. BOHN, 1999: Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*. II. Uptake, translocation, and metabolism, *Weed Science* **47**, 412-415.
- FENG ,P.C.C., J.J. SANDBRINK und R.D. SAMMONS, 2000: Retention, uptake, and translocation of ¹⁴C-glyphosate from track-spray Applications and correlation to rainfastness in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Technology* **14**, 127-132.
- LIU, ZQ, und J.A. ZABKIEWICZ , 1997: Cuticular uptake of glyphosate into wheat with organosilicone surfactant.
- NLEAPER C. und P.J. HOLLOWAY, 2000: Adjuvants and glyphosate activity., *Pest Management Science* **56**, 313-319.
- ZINK J., T. DIEHL, G. DUCHAMP, E. GIBERT, M. KONRADT, H. STADLER und H. VALENSUELA, 2012: Kyleo® - Ein neues Breitbandherbizid für den Einsatz auf der Stoppel. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 514-519.

BELVEDERE® Extra – eine neues Hochleistungsherbizid in Rüben

BELVEDERE® Extra – a new high performance- herbicide in beets

Alexandra Donati* und Martina Fell

Feinchemie Schwebda GmbH, Edmund-Rumpler-Str. 6 D-51149, Köln (Cologne), Germany

*Korrespondierender Autor, Alexandra.Donati@fcs-feinchemie.com;



DOI 10.5073/jka.2014.443.077

Zusammenfassung

Weißer Gänsefuß, Kletten-Labkraut, Floh- und Windenknöterich, Kamille, Binglekraut, Acker-Hundspetersilie und Ausfallraps sind nur einige der wichtigsten im Rübenanbau häufig auftretenden Unkräuter. Zur Bekämpfung der klassischen Unkrautgesellschaften können die Landwirte auf eine begrenzte Anzahl an Wirkstoffen zurückgreifen. Phenmedipham (PMP), Desmedipham (DMP) und Ethofumesat sind in den meisten Fällen die Basis einer Spritzfolge und werden je nach Auftreten bestimmter Leitunkräuter um weitere Wirkstoffe ergänzt. Die drei genannten Wirkstoffe liegen im Herbizid BELVEDERE® Extra in einer neuen Formulierung und einem optimalen Verhältnis vor, sodass das Herbizid bereits alleine ein sehr breites Unkrautspektrum abdeckt und vor allem eine sehr gute Wirkung auf den Weißen Gänsefuß, Kletten-Labkraut und Floh- und Windenknöterich erzielt.

BELVEDERE® Extra ist ein flüssiges, selektives und systemisch wirkendes Herbizid. Mit seiner Formulierung als Suspo-Emulsion werden hohe herbizide Wirkungsgrade bei einer sehr guten Verträglichkeit erreicht. Das Produkt erlaubt außerdem die flexible Steuerung der Blattaktivität durch Zugabe eines Additivs (z.B. OLEO FC).

Die hohe Ausstattung mit 200 g/l Ethofumesat, welches vor allem über den Boden wirkt und einer anderen Wirkstoffgruppe angehört als die beiden Wirkstoffe PMP und DMP, führt zu einem effektiven Resistenzmanagement bei Weißem Gänsefuß und anderen wichtigen Unkräutern.

BELVEDERE® Extra hat seine Stärke gegen einjährige zweikeimblättrige Unkräuter im Nachauflauf von Zuckerrüben in mehrjährigen Versuchen gezeigt. Durch die Kombination von BELVEDERE® Extra mit einem Bodenpartner wie GOLTIX® TITAN® (Metamitron + Quinmerac) oder Goltix® Gold (Metamitron) kann das zu bekämpfende Unkrautspektrum nochmals erweitert werden. Zudem sind die rechtzeitige Behandlung der Unkräuter im Keimblatt- bis max. 1. Laubblattstadium und die Wahl einer an den Standort angepassten Aufwandmenge entscheidend für eine gute Wirksamkeit der Rübenherbizide.

Die Zulassung für die Splittinganwendung im Nachauflauf (3 Nachauflaufbehandlungen Keimblatt (NAKs)) liegt seit 23. September 2013 vor. Die maximal zugelassene Aufwandmenge je NAK beträgt 1,3 l/ha.

Stichwörter: BELVEDERE® Extra, Desmedipham, Ethofumesat, Phenmedipham, Suspoemulsion, Unkrautbekämpfung Zuckerrüben

Abstract

Common lambsquarters, cleavers, ladythumb and wild buckwheat, chamomile, mercury, foolsparsley and volunteer rapes are only some of the most important weeds in fooder and sugar beets. For the control of classical weed societies farmers can fall back on a limited number of active ingredients. Generally, Phenmedipham (PMP), Desmedipham (DMP) and Ethofumesate are the basis of a spray sequence. They are complemented with other active ingredients depending on the specific weed situation.

The newly formulated BELVEDERE® Extra combines the three mentioned active ingredients in an optimal ratio. Hence, the herbicide covers a very broad weed spectrum with an excellent efficacy on Common lambsquarters, cleavers, ladythumb and wild buckwheat. BELVEDERE® EXTRA is a liquid, selective, and systemic herbicide. It is formulated as suspoemulsion so that a high efficacy is achieved while preserving a very good selectivity. The product allows for flexible control of leaf activity as an additive (e.g. OLEO FC) is appended.

Ethofumesate, which is mainly effective via the roots of the plant, belongs to a different HRAC group than Phenmedipham and Desmedipham. The high concentration of 200 g/L Ethofumesate leads to an effective resistance management especially regarding Fathen and other important weeds.

Since 23rd of September 2013 BELVEDERE® extra is registered for post emergence splitting application (3 applications) against annual dicotyledonous weeds. The maximum application rate per treatment is 1,3 L/ha. In combination with GOLTIX® TITAN® (Metamitron + Quinmerac) or Goltix® Gold (Metamitron) the weed spectrum

is broadened. Basically, a timely application whose application rates are adapted to the location is essential for a good efficacy of beet herbicides.

Keywords: BELVEDERE® Extra, desmedipham, ethofumesate, phenmedipham, suspoemulsion, weed control in sugar beet

Einleitung

Im modernen Zuckerrübenanbau hat die Unkrautfreiheit der Bestände von der Jugendentwicklung bis zur Ernte einen hohen Stellenwert. So ist eine effektive Bekämpfung der Unkrautkonkurrenz für maximale Erträge und eine hohe Wirtschaftlichkeit von entscheidender Bedeutung. Die Anzahl der verfügbaren Wirkstoffe hat in den vergangenen Jahrzehnten im Vergleich zu anderen Kulturen nicht zugenommen (HEINRICH, 2013). Daher ist es wichtig, das vorhandene Potenzial über moderne Kombinationen in immer besseren Formulierungen maximal zu nutzen. Mit BELVEDERE® Extra wird ein neues leistungsfähiges und gut verträgliches Rübenherbizid vorgestellt. Es kann mit allen seinen Anwendungsmöglichkeiten optimal an die Standortbedingungen angepasst werden.

Material und Methoden

Produktprofil

BELVEDERE® Extra ist ein flüssiges, selektives und systemisch wirkendes Herbizid zur Bekämpfung zweikeimblättriger Unkräuter in Zucker- und Futterrüben im Nachauflauf-Frühjahr.

Es enthält die drei im Rübenbau bewährten Wirkstoffe Phenmedipham (150 g/l), Desmedipham (50 g/l) und Ethofumesat (200 g/l). Durch eine neuartige Suspoemulsion (SE) wurde ein hoher Anteil von Ethofumesat möglich, der im Hinblick auf ein effektives Resistenzmanagement gegenüber Weißem Gänsefuß (*Chenopodium album*) von besonderer Bedeutung ist (AGRIKOLA und PETERSEN, 2012).

Tab. 1 Produktprofil.

Tab. 1 Product profile.

Wirkstoff [g/l]	Verbindungs- klasse	Wirkort	Wirk- mechanismus	HRAC- Gruppe	Aufnahme	
					Boden	Blatt
Phenmedipham [150]	Phenyl- Carbamate	Cytoplasma	Photosynthese	C1		+++
Desmedipham [50]	Phenyl- Carbamate	Cytoplasma	Photosynthese	C1		+++
Ethofumesate [200]	Benzofurane	Cytoplasma endoplasmatisches Reticulum	Fettsäure- synthese	N	+++	+

Feldversuche

Zur Entwicklung von BELVEDERE® Extra wurden in den Jahren 2006 bis 2008 23 Feldversuche zur Wirksamkeit in Deutschland und Großbritannien durchgeführt (MENDEL-KREUSEL, 2009). Sie bilden die Grundlage für die Zulassung von BELVEDERE® Extra, die Ende September 2013 erteilt wurde.

Aus der umfangreichen Praxiserprobung der Jahre 2012 und 2013 werden im vorliegenden Poster Ergebnisse dargestellt, in denen Tankmischungen aus BELVEDERE® Extra (1,0 bis 1,3 l/ha) einerseits und Goltix® Gold (1,5-2,0 l/ha) oder GOLTIX® TITAN® (2,0 l/ha) andererseits in praxisüblichen Spritzfolgen beginnend im BBCH-Stadium 11 im Abstand von 1-2 Wochen (NAK₁ bis NAK₃) angewendet wurden. Zur Absicherung der Wirksamkeit wurden je nach Anwendungsbedingungen 0,5 - 1,0 l/ha OLEO FC zugesetzt.

Die Versuche waren über alle Rübenanbaugelände verteilt und vermitteln einen repräsentativen Überblick über die wichtigsten dikotylen Unkräuter. Es wurden insgesamt 24 Unkrautarten registriert. Neben Weißem Gänsefuß (*Chenopodium album*) sind Knöterich-Arten (*Polygonum (Fallopia) ssp.*), Kletten-Labkraut (*Galium aparine*), Acker-Hundspetersilie (*Aethusa cynapium*), Bingelkraut (*Mercurialis annua*) und Ausfallraps (*Brassica napus*) als besonders häufige und bedeutsame Arten hervorzuheben.

In einer weiteren Versuchsserie (3 Versuche 2013) wurde der Einfluss des Zusatzes von OLEO FC untersucht.

In sämtlichen Feldversuchen wurde die Kulturverträglichkeit von BELVEDERE[®] Extra zwischen den Behandlungen und nach Abschluss der Spritzfolgen bis zum Reihenschluss beurteilt.

In mechanisch unkrautfrei gehaltenen Selektivitätsversuchen (2007/2008) wurde der Rübenertrag für die zugelassene und die doppelte Aufwandmenge ermittelt. Als Qualitätsparameter wurden der gesamte Zuckergehalt und dessen extrahierbarer Anteil bestimmt.

Ergebnisse

Wirksamkeit

Der Vergleich von BELVEDERE[®] Extra als Soloprodukt mit den im Versuchszeitraum aktuellen Vergleichsstandards zeigt große Übereinstimmung, wie sie auf Grund der unterschiedlichen Formulierungen gleicher Wirkstoffe zu erwarten war. Die dominierende Unkrautart war Weißer Gänsefuß, die mit hoher Wirkungssicherheit sehr gut bekämpft wurde. Der Vorteil des hohen Anteils an Ethofumesat wird insbesondere bei Kletten-Labkraut deutlich. Die zusätzliche Wirkungskomponente über den Boden führt zu einer lang anhaltenden Wirkungsdauer (Abb. 1).

In den Praxisversuchen präsentiert die Spritzfolge aus BELVEDERE[®] Extra und Goltix[®] Gold bzw. GOLTIX[®] TITAN[®] ein lückenloses Wirkungsspektrum, in dem die Hauptunkräuter sehr sicher bekämpft werden können und selbst das schwer zu kontrollierende Bingelkraut noch ausreichend gut erfasst wird. In weiteren Versuchen unter Praxisbedingungen wird dieses Ergebnis zu bestätigen sein. Die Knöterich-Arten werden bei hohem Unkrautdruck sicher ausgeschaltet. Bemerkenswert sind die Ergebnisse für Acker-Hundspetersilie, die in einigen Versuchen bestandesbildend auftrat.

Zwischen den Versuchen mit BELVEDERE[®] Extra im Soloeinsatz und der Praxiserprobung mit den Tankmischungen wird am Beispiel des Vogelknöterich (*Polygonum aviculare*) oder der Echten Kamille (*Matricaria chamomillae*) der Effekt des bodenwirksamen Metamitron in der Tankmischung belegt (Abb. 2).

Insgesamt dokumentieren die Versuche aus den fünf Jahren ein breites Wirkungsspektrum mit hoher und sicherer Wirkung gegen wichtige Unkräuter. Zwischen BELVEDERE[®] Extra und den Referenzprodukten gibt es nur geringe signifikante Unterschiede. Hervorzuheben ist allerdings die deutlich geringere Schwankungsbreite der Ergebnisse mit BELVEDERE[®] Extra.

Der Vergleich von Tankmischungen aus BELVEDERE[®] Extra, Goltix[®] Gold bzw. GOLTIX[®] TITAN[®] mit oder ohne Zusatz von OLEO FC wurde im Jahre 2013 in drei umfangreichen Versuchen geprüft. Sie ergaben gegenüber den Unkräutern keine Wirkungsunterschiede in Abhängigkeit vom Öl-Zusatz. Lediglich bei Kletten-Labkraut oder Knöterich-Arten deutet sich ein Trend zu Wirkungsverbesserung durch OLEO FC an. Ausschlaggebend für die Zumischung mit Öl sind die Bedingungen während der Behandlung, wie Witterung oder die Entwicklungsstadien der Kultur und der Unkräuter. Deshalb kann die Verwendung von OLEO FC sehr flexibel vorgenommen werden.

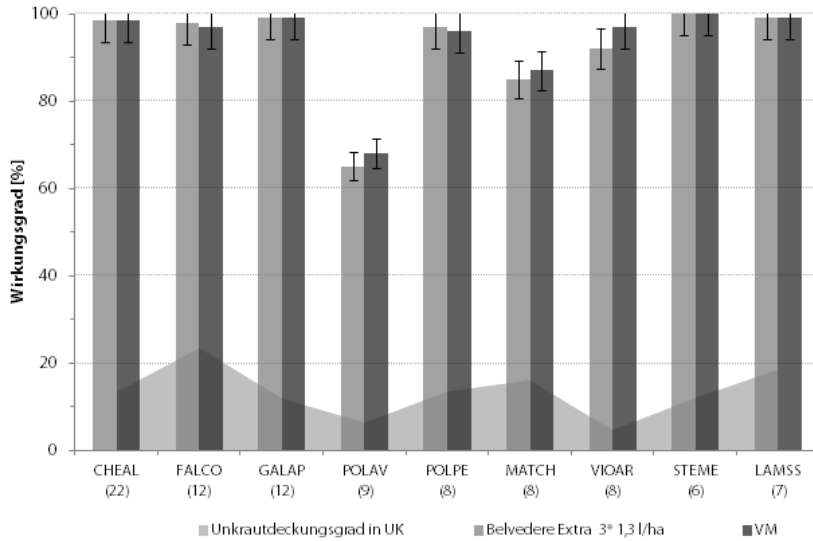


Abb. 1 Wirksamkeit von BELVEDERE[®] Extra, amtliche Mittelprüfung 2006 bis 2008.

Fig. 1 Efficacy of BELVEDERE[®] Extra, official trials 2006-2008.

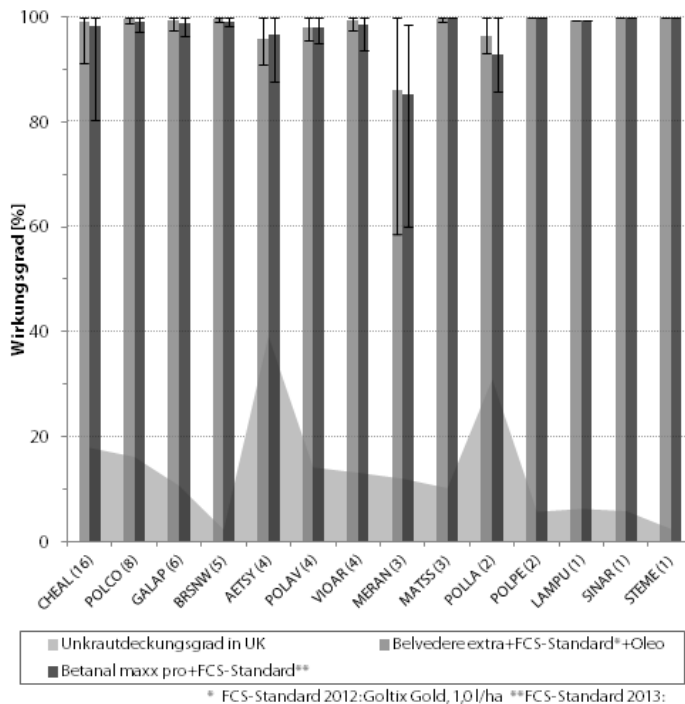


Abb. 2 Wirksamkeit von BELVEDERE[®] Extra in Praxisversuchen 2012 und 2013. Datenbasis: 19 Versuche

Fig. 2 Efficacy of BELVEDERE[®] Extra on field trials 2012 and 2013.

Selektivität

Bei den visuellen Bonituren auf Blattschäden 4 Wochen nach der letzten NAK-Behandlung wurden in 9 von 15 Praxisversuchen mit der Tankmischung aus BELVEDERE® Extra und Goltix® Gold bzw. GOLTIX® TITAN® keinerlei Symptome festgestellt. In den Versuchen 2012 und 2013 wurden leichte Blattschäden in Form von Blattnekrosen beobachtet, die aber nach maximal 6 Wochen nicht mehr sichtbar waren und keinerlei Einfluss auf das Rübenwachstum sowie den Ertrag oder die Qualität der Ernteprodukte hatten.

In den Selektivitätsversuchen mit mechanisch unkrautfrei gehaltenen Parzellen konnte nachgewiesen werden, dass BELVEDERE® Extra keinen negativen Einfluss auf den Rübenenertrag (Abb. 3) und den Zuckergehalt hatte, weder mit der zugelassenen noch mit der doppelten Aufwandmenge, hatte. Die geringen Unterschiede waren in keinem Falle statistisch gesichert (MENDEL-KREUSEL, 2009). Der Zuckergehalt betrug durchschnittlich 16,7%, die geringen Unterschiede waren nicht signifikant. Der Anteil an extrahierbarem Zucker lag einheitlich bei 87,9% und unterschied sich ebenfalls nicht von der unbehandelten Kontrolle (Abb. 4).

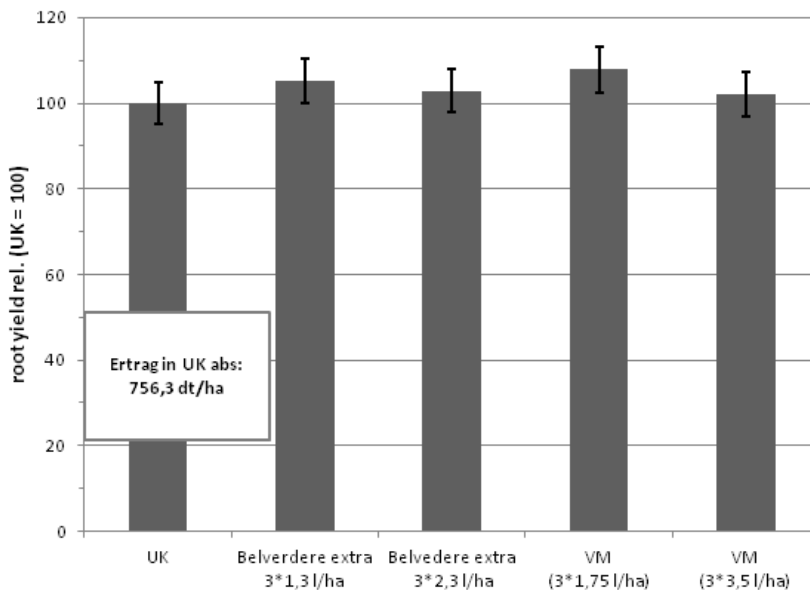


Abb. 3 Rübenenertrag (relativ) mit normaler und doppelter Aufwandmenge, Versuche mechanisch unkrautfrei 2007/2008.

Fig. 3 Beet yield (relative) with normal and double dose rate, official trials 2007/2008.

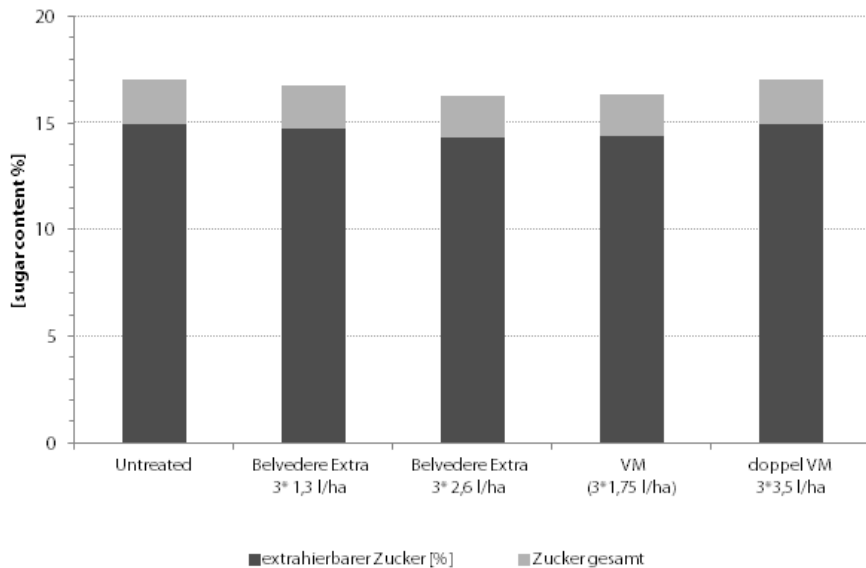


Abb. 4 Zuckergehalt mit normaler und doppelter Aufwandmenge, Versuche mechanisch unkrautfrei, 2007/08.

Fig. 4 Sugar content with normal and double dose rate, official trials 2007/08.

Diskussion

Mit BELVEDERE[®] Extra ist eine neue Herbizidkombination aus langjährig bewährten Wirkstoffen zugelassen worden. Über das Mischungsverhältnis der Wirkstoffe zueinander und die neuartige Formulierung als Suspoemulsion werden die Eigenschaften wie die Aufnahme und der Transport der Wirkstoffe bei optimaler Kulturverträglichkeit ideal eingestellt.

Bereits als Soloprodukt weist BELVEDERE[®] Extra ein breites Wirkungsspektrum mit einer hohen und sicheren Wirkung auf. Um eine dauerhafte Unkrautfreiheit der Rübenbestände zu gewährleisten haben sich in der Praxis jedoch Tankmischungen bewährt, die eine langzeitige Bodenwirkung auf den Rübenflächen sicherstellen.

Wie die Praxisversuche der Jahre 2012 und 2013 gezeigt haben, sind diese Anforderungen mit Goltix[®] Gold (0,5 – 1,0 l/ha) oder GOLTIX[®] TITAN[®] (1,0 – 1,5 l/ha) als Tankmischpartner vollständig zu gewährleisten. Weitere Produkte als Tankmischpartner in der Spritzfolge sind in Erprobung und werden nach dem Vorliegen entsprechender Erfahrungen ein Bestandteil der Anwendungsempfehlungen sein.

Durch die neue Formulierung kann der Zusatz von Additiven, wie zum Beispiel OLEO FC, zur Verbesserung der Wirksamkeit sehr flexibel an die jeweiligen Standortbedingungen angepasst werden. In vielen Fällen kommen die Tankmischungen von BELVEDERE[®] Extra ohne diese Zusätze aus. Sind sie erforderlich, führen sie nicht zu einer verminderten Kulturverträglichkeit.

In BELVEDERE[®] Extra sind Wirkstoffe mit sehr unterschiedlichen Resistenzfaktoren (HRAC-Gruppe) kombiniert. Damit ist dieses Herbizid ein wichtiges Werkzeug in einem sinnvollen Resistenzmanagement (KALFA, 2012; VARRELMAN, 2013). Die Einzelwirkstoffe liegen darüber hinaus in Konzentrationen vor, die über eine entsprechende herbizide Leistung verfügen und auf diesem Weg ebenfalls der Resistenzbildung vorbeugen. Das drückt sich unter anderem in der allgemein geringen Schwankungsbreite der Wirkungsgrade mit BELVEDERE[®] Extra gegenüber den Vergleichsmitteln aus.

BELVEDERE® Extra hat sich als gut verträgliches Rübenherbizid erwiesen. Die Blattnekrosen, die nach den einzelnen Behandlungen zu beobachten waren, verwachsen sich schnell und haben keinen negativen Einfluss auf die Quantität oder die Qualität des Rübenertes. In den mechanisch unkrautfrei gehaltenen Versuchen mit einer fehlenden Unkrautkonkurrenz zur Selektivität war an keinem Standort ein negativer Effekt auf diese Kriterien nachweisbar.

Mit der Erteilung der Zulassung am 23. September 2013 wird der Praxis ein weiteres zuverlässiges Rübenherbizid zur Verfügung gestellt. In Tabelle 2 sind die Rahmenbedingungen für die Anwendung von BELVEDERE® Extra zusammengestellt.

Tab. 2 Zulassungsumfang von BELVEDERE® Extra.

Tab. 2 Registration items of BELVEDERE® Extra.

Kultur	Zuckerrübe, Futterrübe
Schadorganismus/Zweck	Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter
Anwendungszeitpunkt	Nach dem Auflaufen
Stadium der Kultur	BBCH 10 - 19
Aufwandmenge	3 x 1,3 l/ha im Splitting (max. 3,9 l/ha)
Abstand zwischen den Anwendungen	5 – 12 Tage

Literatur

- AGRIKOLA, Y. und J. PETERSEN, 2012: Bedeutung und Bekämpfungsansätze verschiedener Photosystem-II-Inhibitor-Resistenzen bei *Chenopodium album* in Zuckerrüben und Kartoffeln In Summary 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, Braunschweig, Julius Kühn Archiv **434**, 111-118.
- HEINRICH, C., 2013: Bekannte Wirkstoffe neu gemischt In Zuckerrüben Journal 9, Bonn, Rheinischer Landwirtschafts-Verlag.
- MENDEL-KREUSEL, R., 2009: Herbicide for weed control in fodder and sugar beet In Biological Assessment Dossier for BELVEDERE® Extra (FSG-01096 H-0-SE), Köln.
- KALFA, A., 2012: Die Verbreitung von *C. album* – Biotypen mit „target site“-Mutationen – Ergebnisse des dreijährigen Monitorings, In Vortrag, Fulda, FCS Fachsymposium.
- VARRELMANN, M., 2013: Development of strategies for the control of *Chenopodium album* biotypes with reduced Metamitron sensitivity in different European countries In Vortrag, Köln, FCS Meeting.

Sektion 7: Herbizide - Management

Section 7: Herbicide - management

Cruciferous weeds in oil seed rape – appearance and control

Kreuzblütler als Unkräuter im Raps – Aussehen und Kontrolle

Günter Klingenhagen

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Pflanzenschutzdienst, Nevinghoff 40,
48147 Münster
guenter.klingenhagen@lwk.nrw.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.078

Abstract

Different cruciferous weeds were drilled in autumn 2011 and 2012 in a field near Münster. Beside common species like hedge mustard (*Sisymbrium officinale* Scop.), shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris*), pennycress (*Thlaspi arvense*), tall hedge mustard (*Sisymbrium loeselii*) and flixweed (*Descurainia sophia*), we tried to establish weeds that are not common on arable land in Germany until now. These were: Yellow rocket (*Barbarea vulgaris*), hoary cress (*Lepidium draba*) and Turkish rocket (*Bunias orientalis*). In autumn 2011 emergence of the sown weeds was poor. In the second year of experiment we got good emergence of the named weeds excluding hoary cress (*Lepidium draba*). In autumn 2011 and 2012 different herbicide-combinations were applied across the stripes. The best results were achieved with Colzor Trio (clomazone + dimethachlor + napropamid) which was applied in pre-emergence state, a spray sequence Butisan Gold (metazachlor + quinmerac + dimethenamid-P) applied in pre-emergence followed by Salsa (ethametsulfuron-methyl) + Trend (adjuvant) in post-emergence and Clearfield-Vantiga (metazachlor + quinmerac + imazamox) + Dash (adjuvant), also applied in post-emergence state of the weeds.

Keywords: Acetolactatsynthase-inhibitors, brassicaceae, chemical control, germination, oil seed rape, outdoor

Zusammenfassung

Im Herbst der Jahre 2011 und 2012 wurden verschiedene Kreuzblütler auf einem Feld in der Nähe von Münster ausgesät. Neben weit verbreiteten Arten wie Wegrauke (*Sisymbrium officinale*), Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*), Ackerhellerkraut (*Thlaspi arvense*), Löselkraut (*Sisymbrium loeselii*) und Besenrauke (*Descurainia sophia*), versuchten wir auch Arten zu etablieren, die auf Ackerflächen in Deutschland noch nicht allgemein vertreten sind. Dazu gehörten Barbarakraut (*Barbarea vulgaris*), Pfeilkresse (*Lepidium draba*) und Orientalische Zuckerschote (*Bunias orientalis*). Im Herbst des Jahres 2011 liefen nur wenige Unkräuter auf. Im zweiten Versuchsjahr war mit Ausnahme der Pfeilkresse (*Lepidium draba*) ein guter Aufgang der ausgesäten Unkräuter festzustellen. Quer zu den Unkrautstreifen wurden im Herbst 2011 wie im Herbst 2012 verschiedene Herbizid-Kombinationen ausgebracht. Die besten Ergebnisse konnten mit Colzor Trio, welches im Vorauflauf eingesetzt wurde, einer Spritzfolge aus Butisan Kombi im Vorauflauf, gefolgt von Salsa + Trend im Nachauflauf und Clearfield-Vantiga + Dash, welches auch im Nachauflauf eingesetzt wurde, erzielt werden.

Stichwörter: Acetolactatsynthase-Hemmer, Brassicaceae-Arten, chemische Kontrolle, Freiland, Keimung, Raps

Introduction

The control of cruciferous weeds in the cruciferous crop oil seed rape is a challenge, especially after the active ingredient clomazone has received further restrictions. Due to these restrictions the options of use are severely limited. On the other hand there is a discussion that beside the common cruciferous weeds like *Capsella bursa-pastoris*, *Sisymbrium loeselii*, *Descurainia sophia* and *Thlaspi arvense* further cruciferous plants could become significant competitors. *Barbarea vulgaris*, *Lepidium draba* and *Bunias orientalis* are named in this context. The aim of the project was on one hand to have an intensive look on the growth and appearance of these "new" plants and on the other hand to investigate how they are controlled by oil seed rape herbicides.

Material and Methods

The weed seeds were delivered by the companies "Appels wilde Samen" and "Herbiseed". Further on we got some samples from Dow AgroScience and BASF SE. The drilling took place on 21.09.2011 and 30.08.2012. The seeds were drilled in stripes of 1.3 meter x 50 meter with a "Hege" drilling machine, suitable for trials. Crosswise to the drill stripes the herbicides were applied. In autumn 2011 the first half of the 50 meter long trial, in 2012 the second half. Thus, in autumn 2012 there was germination from seeds that were sown in 2011 as well as in 2012. The drilling depth was 2 cm. In both years the following weeds and seed rates were sown. *Thlaspi arvense* (2.3 g/m²), *Barbarea vulgaris* (1.5 g/m²), *Sisymbrium officinale* (0.75 g/m²), *Sisymbrium loeselii* (0.75 g/m²), *Descurainia sophia* (0.75 g/m²), *Capsella bursa-pastoris* (0.075 g/m²), *Bunias orientalis* (2.3 g/m²), *Raphanus raphanistrum* (0.75 g/m²), *Lepidium draba* (1.5 g/m²), *Sinapsis arvensis* (1.5 g/m²) and *Brassica napus* (1.5 g/m²). Beside these cruciferous weeds other species like *Geranium rotundifolium* (1.5 g/m²) were integrated in the study. The natural weed infestation on the field was a population of *Viola arvensis*, *Matricaria chamomilla*, *Papaver rhoeas* and *Capsella bursa-pastoris*.

The application of the herbicides was carried out with a trial sprayer. The sprayer was equipped with an Airmix 110 03 nozzle. The applications were done with 300 L/ha water and a pressure of 2.3 bar. Beside every application path an untreated control with a width of 30 cm was left. The herbicidal efficacy was finely assessed on 19.04.2013 as % visual biomass reduction.

To control the natural weed infestation we used Stomp Aqua (2.0 L/ha), Kerb Flo (1.0 L/ha) and Runway (0.2 L/ha). This was done in the second year of investigation and worked well for *Viola arvensis*, *Matricaria chamomilla*, *Stellaria media* and *Papaver rhoeas*. This mixture was applied on 22.10.2012.

Tab. 1 List of products used in the period of investigation.

Tab. 1 Aufstellung von Produkten, die im Untersuchungszeitraum zum Einsatz kamen.

Product	Active ingredient(s)	g/L/kg
Colzor Trio	clomazone + dimethachlor + napropamid	30 + 187,5 + 187,5
Butisan Gold	metazachlor + quinmerac + dimethenamid-p	200 + 100 + 200
Centium 36 CS	clomazone	360
Clearfield-Vantiga	metazachlor + quinmerac + imazamox	375 + 125 + 6,25
Butisan Top	metazachlor + quinmerac	375 + 125
Salsa	ethametsulfuron-methyl	750
Runway	aminopyralid + clopyralid + picloram	40 + 240 + 80
Fox	bifenox	480
Stomp Aqua	pendimethalin	455
Kerb Flo	propyzamid	400

Results

In the first year of experiment the germination of the seeds was poor. *Barbarea vulgaris*, *Sisymbrium officinale* and *Bunias orientalis* did occur, but not before March 2012. So it was not possible to estimate the impact of the applied herbicides in this year of investigation. At least the different abilities to compete with other plants could be seen. In May 2012 the weed flora was strongly dominated by *Matricaria chamomilla*. Against this early established weed, *Sisymbrium officinale* and *Bunias orientalis* showed to be competitive. This was not the case for *Barbarea vulgaris* and *Capsella bursa-pastoris*. But in contrast to *Capsella bursa-pastoris*, *Barbarea vulgaris* was able to grow "in the dark" what means, that it was able to grow under the *Matricaria chamomilla* cover.

In the second year a good, equable germination and growth could be observed. This was the case for all named weeds except for *Lepidium draba*. *Lepidium draba* again, only germinated in spring. The impact of the applied herbicides can be seen in the tables below. One has to keep in mind, that there was no crop to support the activity of the herbicides. Not listed are *Raphanus raphanistrum* and *Sinapis arvensis*. The species developed continuously and equal. The growth could be reduced by up to 90% with Clearfield-Vantiga + Dash. The other herbicide treatments showed no significant effect. Even so all plants were killed over winter.

Tab. 2 Impact of different herbicide sprays against cruciferous weeds and *Geranium rotundifolium*.

Tab. 2 Wirkung verschiedener Herbizidanwendungen gegen Kreuzblütler als Unkräuter und *Geranium rotundifolium*.

Application-timing		Product and application rate per ha					
Pre-emergence, 03.09.2012, soil dry, cloudy, 20°C		Colzor Trio 4,0 L	Butisan Gold 2,5 L	Butisan Gold 1,5 L	Centium 36 CS 0,3 L	Butisan Gold 1,5 L + Centium 36 CS 0,3 L	
	Control						
GS 10-16, 5.10.2012, soil moist, plants dry, sunny, 12°C							Clearfield Vantiga 2,0 L + Dash 1,0 L
Weed	Cover ratio %	% efficacy on 19.04.2013					
<i>Barbarea vulgaris</i>	35	55	35	25	0	25	40
<i>Bunias orientalis</i>	12	60	60	15	20	36	90
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	65	98	65	55	65	95	50
<i>Descurainia sophia</i>	10	50	70	50	40	55	80
<i>Sisymbrium löselii</i>	25	100	40	20	90	93	75
<i>Sisymbrium officinale</i>	30	100	20	10	100	100	100
<i>Geranium rotundifolium</i>	80	95	70	40	0	75	50

Tab. 3 Impact of different herbicide sprays against cruciferous weeds and *Geranium rotundifolium*.**Tab. 3** Wirkung verschiedener Herbizidanwendungen gegen Kreuzblütler als Unkräuter und *Geranium rotundifolium*.

Application-timing		Product and application rate per ha					
Pre-emergence, 03.09.2012, soil dry, cloudy, 20°C		Butisan Gold 1,5 L					
GS 10-16, 15.10.2012, soil moist, plants dry, sunny, 12°C	Con- trol	Clearfield	Butisan			Runway	Runway
		Vantiga 2,0 L + Dash 1,0 L	Top 2,0 +	Salsa 25 g + Trend 0,3 L	Salsa 25 g + Trend 0,3 L	Salsa 25 g + Trend 0,3 L	Salsa 25 g + Trend 0,3 L
Weed species	Cover ratio %	% efficacy on 19.04.2013					
<i>Barbarea vulgaris</i>	35	40	25	0	45	30	30
<i>Bunias orientalis</i>	12	90	35	30	45	35	15
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	65	50	60	20	95	60	20
<i>Descurainia sophia</i>	10	80	95	100	100	99	80
<i>Sisymbrium löselii</i>	25	75	70	70	87	90	30
<i>Sisymbrium officinale</i>	30	100	75	45	45	50	70
<i>Geranium rotundifolium</i>	80	50	75	55	97	60	30

Discussion

Taking the average, the best weed control was achieved with Colzor Trio. This was also in 2011/12 the case when *Matricaria chamomilla*, *Papaver rhoeas*, *Centaurea cyanus* and *Stellaria media* stood in front. Concerning the "new" weeds, *Barbarea vulgaris* showed to be not that competitive but very persistent and quite tolerant to the applied herbicides. Clearfield-Vantiga + Dash showed considerably activity in late autumn; but without a competitive crop plants recovered. *Bunias orientalis* once germinated, grows rapidly and can reach an impressive dimension. But it seems to be not too winter hardy. There was a loss of about 50% of the plants over winter. This rate was increased through herbicide treatments, even so the herbicide treatment showed no direct effect on the plants. This, for example, was the case after treatment with full rate of Butisan Gold in pre-emergence. Further germination of *Bunias orientalis* was partly controlled in the plots treated with Salsa. A residual activity of ethametsulfuron-methyl, lasting until spring, was visible. This might

explain the good control of *Descurainia sophia* by all Salsa treatments. The sequence of Butisan Gold followed by Salsa produced the best results in case of the Salsa treatments. Full control of *Sisymbrium officinale* was only possible by the use of clomazone products or Clearfield-Vantiga + Dash. None of the used herbicide treatments/systems were able to control all weeds sufficiently. Therefore and keeping in mind resistance developments, it is desirable to preserve as much active ingredients in the market as possible.

***Colchicum autumnale* - Control strategies and their impact on vegetation composition of species-rich grasslands**

Colchicum autumnale – Strategien zur Kontrolle und ihr Effekt auf die Vegetationszusammensetzung eines artenreichen Grünlands

Melanie Seither* and Martin Elsässer

Agricultural Center for cattle production, grassland management, dairy management, wildlife and fisheries Baden-Wuerttemberg (LAZBW), Atzenberger Weg 99, 88326 Aulendorf, Germany

*Corresponding author, melanie.seither@lazbw.bwl.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.079

Abstract

The meadow saffron *Colchicum autumnale* occurs on agricultural land predominantly in extensively managed grassland, often underlying nature preservation regulations. Due to its high toxicity if fresh or conserved (hay and silage), there is a need of control measures to ensure the future management and sward utilization of sites with occurrence of *C. autumnale*. Until now it is unclear, to what extent common management recommendations affect the vegetation composition of species-rich grassland.

In this study, the effect of different management measures (late hay cut with or without rolling, early hay cut, late mulching in May, early mulching in April, herbicide application with or without reseeding) on the number of *C. autumnale* and the vegetation composition of a moderately species-rich *Dauco-Arrhenatheretum elatioris* (31 ± 4 species per m^2 , mean \pm standard deviation) was examined since 2006. The number of *C. autumnale* was first significantly reduced three years after the start of the experiment in the early and late mulching treatments; in the next three experimental years treatment differences in *C. autumnale* reduction did not increase significantly. With respect to vegetation composition, herbicide application had the overriding effect, as it decreased the plant species number and proportions of forbs significantly. The late hay cut preserved the original plant diversity, no negative effect of rolling or the early hay cut was observed. Early mulching resulted in an increase in *Dactylis glomerata* and *Trisetum flavescens* and in the decrease of *Crepis biennis*, *Vicia sepium*, *Tragopogon pratense* and *Trifolium pratense*; it had no negative effect on the total proportion of high nature value (HNV) species. Late mulching resulted in a significantly lower yield proportion of high nature value species in 2012 and less similar in vegetation composition compared to the late hay cut treatment than early mulching; therefore it seems not to be a suitable control measure of *C. autumnale* in plant species-rich grassland on the long-term.

Keywords: *Colchicum autumnale*, extensive grassland, grassland management, plant diversity, vegetation composition

Zusammenfassung

Die Herbstzeitlose *Colchicum autumnale* kommt auf landwirtschaftlichen Flächen vorrangig im Extensivgrünland vor, das häufig Naturschutzaufgaben unterliegt. Aufgrund der hohen Giftigkeit, ob frisch oder konserviert (Heu und Silage), werden Regulationsmaßnahmen benötigt, um die zukünftige Bewirtschaftung betroffener Flächen und die Verwendung der Aufwüchse sicher zu stellen. Bisher ist unklar, welches Ausmaß übliche Bewirtschaftungsempfehlungen auf die Vegetationszusammensetzung von artenreichem Grünland haben.

In dieser Studie wurde seit 2006 der Effekt unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen (später Heuschnitt mit und ohne Walzen, früher Heuschnitt, spätes Mulchen im Mai, frühes Mulchen im April, Herbizidanwendung mit und ohne Nachsaat) auf die Anzahl an *C. autumnale* und die Vegetationszusammensetzung einem mäßig artenreichen *Dauco-Arrhenatheretum elatioris* (31 ± 4 Arten je m^2 , Mittelwert \pm Standardabweichung) untersucht. Die Anzahl an *C. autumnale* war erstmalig nach drei Versuchsjahren bei frühem und spätem Mulchen signifikant reduziert; in den nächsten drei Versuchsjahren verstärkten sich die Unterschiede zwischen den Behandlungen nicht signifikant. Hinsichtlich der Vegetationszusammensetzung hatte die Herbizidbehandlung den stärksten Effekt, da sie zu signifikanter Abnahme der Pflanzenartenzahl und des Ertragsanteils der Kräuter führte. Der späte Heuschnitt bewahrte die ursprüngliche Pflanzenartenvielfalt, ebenso wurde kein negativer Effekt durch Walzen oder früheren Heuschnitt im Juni beobachtet. Frühes Mulchen führte zur Zunahme von *Dactylis glomerata* und *Trisetum flavescens* und der Abnahme von *Crepis biennis*, *Vicia sepium*, *Tragopogon pratense* und *Trifolium pratense*; es hatte keinen negativen Effekt auf den Gesamtertragsanteil an high nature value (HNV)-Arten. Spätes Mulchen führte 2012 zu einem signifikant niedrigeren Ertragsanteil an

HNV-Arten und geringerer Ähnlichkeit in der Vegetationszusammensetzung zum späten Heuschnitt als frühes Mulchen; es scheint daher längerfristig nicht die passende Maßnahme zur Regulation von *C. autumnale* in artenreichem Grünland zu sein.

Stichwörter: *Colchicum autumnale*, extensives Grünland, Grünlandmanagement, Pflanzenartenvielfalt, Vegetationszusammensetzung

Introduction

Colchicum autumnale is a plant with high toxicity and a wide distribution in South Germany on extensively managed grassland. Due to its relatively broad ecological amplitude *C. autumnale* is listed by OBERDORFER *et al.* (1990) as character species for the entire class Molinio-Arrhenatheretea in southern Germany. Extensively managed grassland that was formerly used in an intensive way has an increased risk that *C. autumnale* appears because a late first utilization permits the plant the development of leaves and seeds. The increase in *C. autumnale* and other toxic plants often follows the initiation of nature protection programs prescribing late first cuts in order to assure the maintenance of plant species-richness. In general, intensive grassland management with an early first cut in May and high fertilizer application weakens *C. autumnale* (DIERCKS and JUNKER, 1959; JUNG *et al.*, 2011; STÄHLIN, 1969; ELSÄSSER *et al.*, 2009; JUNG *et al.*, 2011). Therefore, *C. autumnale* hardly ever occurs in grassland used for ensiling.

For the conservation of species-rich meadows, the continuation of an extensive management and furthermore a reasonable utilization of the sward are preconditions. However, hay of meadows containing *C. autumnale* cannot be fed to livestock, as its toxicity is preserved during drying (and ensiling). The lethal dosage (LD50) for cattle lays around one mg Colchicin per kg live weight (KÜHNERT, 1991 in CliniPharm / CliniTox, 2013). During ripening of the plants the alkaloid content increases; the highest toxicity is found in seed capsules that are harvested together with the leaves of the late first cut. Whereas grazing animals are usually able to avoid toxic plants on the pasture, it comes to acute poisoning of animals fed on contaminated hay from time to time. To meet both goals of nature protection and animal nutrition, an effective control measure of *C. autumnale* maintaining biodiversity in species-rich grassland is needed. While it is known that a cut in spring can effectively control *C. autumnale* (ELSÄSSER *et al.*, 2009; JUNG *et al.*, 2010), as the maximal exhaustion of stored nutrients and starch in the belowground bulbs is in early spring (FRANKOVÁ *et al.*, 2004; JUNG *et al.*, 2012), and *C. autumnale* was reported to appear rarely in grazed grassland (JUNG *et al.*, 2011), the effect of these measures on vegetation composition of species-rich grassland is unclear. In this study, we therefore compared the following management measures recommended to date: different mulching (April, May) and cutting (beginning of June, July) regimes, a treatment with rolling simulating intensive trampling by grazing animals and herbicide application with or without subsequent reseeding. We addressed the question, which management measures effectively reduce the number of *C. autumnale* but do not result in a change in vegetation composition.

Material and Methods

The experimental site is a plant species-rich (31 ± 4 species per m^2 , mean \pm standard deviation, sd, in 2006) permanent grassland with high proportions of *Colchicum autumnale* (578 ± 226 plants per $25 m^2$, mean \pm standard deviation, sd, across all plots in 2006), belonging to the plant sociological society *Dauco-Arrhenatheretum elatioris* (POTT, 1992). The site is used as meadow with two cuts per year (late hay cut in the midst of July, second cut around eight weeks later), every two years it is fertilized with around $5 t ha^{-1}$ of horse manure. The grassland is managed according to requirements of the agri-environmental measure 'extensive management of plant species-rich grassland' (precondition: abundance of at least four plant species from a list of 28 typical species) of the MEKA (Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich, Baden-Württemberg) program. The site is located in Balingen (South Germany), in the low mountain range Swabian Alb. The average annual precipitation for the Swabian Alb foreland is 825 mm, the temperature $7.8 ^\circ C$

(LANDWIRTSCHAFTSAMT ZOLLERNALBKREIS, 2008). The soil type is a pseudogley (on Opalinus clay); the texture is loamy clay.

In the experiment, management measures were varied (Tab. 1) in order to investigate their effect on the abundance of *C. autumnale* and the vegetation composition. In treatments HER and HER+RS, a herbicide against dicots was applied yearly (between 30th of April and 21st of May); in 2006 Aaherba (2 L ha⁻¹; active components dimethylamine salts [MCPA and 2.4-D]) was used, since 2007 Simplex (2 L ha⁻¹; active components 4-amino-3,5-dichloro-6-fluoro-2-pyridyloxyacetic acid [fluroxypyr] and aminopyralid). From 2006 to 2008, a reseeding in treatment HER+RS took place after herbicide application with a seed mixture (25 kg ha⁻¹) suitable for intensively managed meadows and pastures with fresh soils (in seed weight proportions: 48% *Lolium perenne*, 24% *Phleum pratense*, 4% *Poa pratensis*, 3% *Trifolium repens*). Reseeding took place after the first cut in 2006 or 2008 or after the second cut in 2007. In 2009 no reseeding was necessary as herbicide application did not increase the proportion of gaps and a high amount of seeds was spread through haying (visual observation).

Vegetation analyses were made in 2006 (except for treatments M_E and C_L+R as these had just been carried out at the time of vegetation analysis), 2009 and 2012: plant species and their proportion on dry matter yield (KLAPP and STÄHLIN, 1936) were recorded in April/May (before the first cut) in 25 m² circular in the middle of each 150 m² (15 x 10 m) plot. Additionally, *C. autumnale* individuals were counted yearly on a 25 m² square in the middle of each plot.

Tab. 1 Management measures to control *C. autumnale* with dates (time period across experimental years). The first hay cut on the mulching treatments was at the same time as for the late hay cut treatment.

Tab. 1 Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Kontrolle von *C. autumnale* mit Angabe des Zeitpunkts (Zeitspanne über die Versuchsjahre). Der erste Heuschnitt der Mulchvarianten erfolgte zur gleichen Zeit wie für den späten Heuschnitt.

Treatment	
1	C_L late hay cut (common management; 07/06 – 02/08) as control
2	C_L+R with rolling (27/04 – 17/05)
3	C_E early hay cut (26/05 – 03/06)
4	HER and herbicide treatment
5	HER+RS and herbicide treatment with reseeding (2006 to 2009)
6	M_L late mulching (without herbage removal; 11/05 – 21/05: flowering of <i>Taraxacum officinale</i>)
7	M_E early mulching (without herbage removal; 17/04 – 04/05: ~10 cm height of <i>C. autumnale</i>)

The treatments were replicated three times in blocks, they were assigned randomly. Univariate analyses were performed with the statistics program R (R Development Core Team 2012, version 2.15.0). The effect of management measures on plant species numbers and yield proportion of grasses, forbs and legumes was determined by an ANOVA using a mixed model with fixed factor treatment and random factor block. The relative change in the number of *C. autumnale* plants was analysed with a mixed model ANCOVA, using the number of *C. autumnale* plants in 2006 as covariable. The assumptions of normality and homogeneity of variance for the response variables were tested visually with normal quantile-quantile (QQ) or residuals vs. fitted values plots (ZUUR *et al.*, 2009). If the assumptions were not met, the response variable was transformed. The Tukey test was used to determine treatment differences post-hoc. Indicator species analyses were performed following the specifications made in BORCARD *et al.* (2011).

Multivariate vegetation analyses were performed with Canoco for Windows (Version 4.5). The vegetation composition of the data set was relatively homogeneous (indicated by a gradient length of 1.667 found in a detrended correspondence analysis); therefore redundancy analyses (RDAs) and principal component analyses (PCAs) were performed. Partial RDAs and PCAs (blocks were used as covariables) were performed and species data log-transformed, apart from that the

default settings were used. Monte Carlo permutation tests for testing significant effects of management measures in RDAs were performed with 199 permutations, significant species reactions in response to single management measures were determined by t value biplots (LEPŠ and ŠMILAUER, 2003). Repeated measure analyses based on RDAs were performed according to LEPŠ and ŠMILAUER (2003).

Results

Change in *C. autumnale* numbers

In all treatments the number of *C. autumnale* tended to be lower in 2007 and the consecutive years compared to 2006, the first experimental year (Fig. 1). Only early and late mulching resulted in a significant decrease in *C. autumnale* numbers compared to the other treatments since 2009 ($P = 0.005$, $P < 0.001$, $P < 0.001$ and $P = 0.004$ from 2009 to 2012, respectively). After 2009, no further significant differences between treatments in *C. autumnale* occurred in one of the treatments (determined by an ANCOVA with number of *C. autumnale* in 2009 as covariable). In 2012, the early hay cut resulted in a similarly large – though not significant – reduction in *C. autumnale* as the mulching treatments. The effectiveness of some of the management measures increased with the onset of the experiment, resulting in a year effect ($P < 0.001$), treatment effect ($P < 0.001$) and a treatment x year interaction ($P = 0.026$).

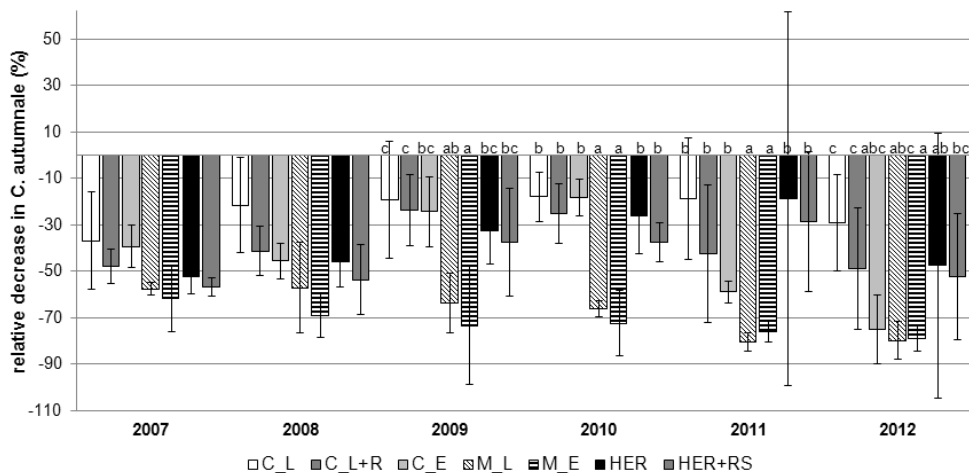


Fig. 1 Change in number of *C. autumnale* compared to 2006 within treatments. Significant differences between treatments are indicated by different letters ($P \leq 0.01$, respectively; determined by ANOVAs with the number of *C. autumnale* in 2006 as covariable).

Abb. 1 Veränderung der Anzahl an *C. autumnale* im Vergleich zu 2006 innerhalb der Varianten über die Versuchslaufzeit. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb eines Versuchsjahres (jeweils $P \leq 0.01$; ermittelt über ANCOVAs mit der Kovariable *C. autumnale*-Anzahl in 2006) sind durch unterschiedliche Buchstaben angezeigt.

Management effects on vegetation composition

There was no difference in vegetation composition between the treatments examined at the start of the experiment in 2006. In 2009 and 2012, after three or six years of different management practices, vegetation composition differed significantly between treatments ($P = 0.005$ in 2009 and 2012, respectively; Monte Carlo permutation test). Both herbicide treatments and early mulching explained a significant part of the variance in the vegetation composition in both years.

In 2009 and 2012, the herbicide application dominated the effect on vegetation composition: herbicide application built the first PCA-axis in both years, i.e. herbicide treatments were highly

negatively correlated, while the late hay cut was positively correlated to that axis (data not shown). The plant species number and yield proportion of forbs was considerably reduced through the herbicide application (Tab. 2). The proportion of legumes was larger in treatments without herbicide application and in the early hay cut compared to the late hay cut with rolling in 2009.

When the herbicide treatments were not considered, early mulching (-0.70), the early hay cut (0.50) and late mulching (0.34) were highly correlated to the first PCA-axis that explained 19.5% of the remaining variance in vegetation composition (data not shown). The late hay cut was highly correlated (-0.53) to the third axis, that explained 12.2% of the variance in vegetation composition. In Table 3 plant species whose abundance was significantly affected by at least one of the management measures are presented. According to their highest correlation with treatments, they were assigned to groups representing the effect of the date of cutting (no effect of rolling was observed). The abundance of *Rhinanthus alectorolophus* was higher in the late hay cut compared to the other treatments in 2012; it was identified as indicator species of this treatment, i.e. occurred in higher proportions and steadiness in this treatment. In the early mulching plots, *Cardamine pratensis* (also significant in t-value biplot analysis) was indicator species in 2009, but then decreased significantly until 2012 (by -1.6%). *Festuca rubra* was indicator species of the early mulching treatment in 2012, the absence of *Galium album* was an indicator of the herbicide treatment without reseeding.

The number and yield proportion of high nature value (HNV) species (mainly forbs) was considerably lower in herbicide-treated plots (Fig. 2). Within non-herbicide treated plots the HNV species proportion was comparable with exception of the late mulching treatment that had a significant lower HNV yield proportion than the late hay cut in 2012.

There was a directional temporal change in the vegetation composition between 2009 and 2012. A significant development of the vegetation composition in time was found for the early mulching ($P = 0.010$, determined by manual selection based on the C2 analysis: see LEPS and ŠMILAUER, 2003). From 2009 to 2012, there was a significant decrease in the abundance of *Crepis biennis* (-3.9 vs. +0.3%), *Trifolium pratense* (-4.2 vs. -1.2%), *Tragopogon pratense* (-1.2 vs. -0.5%) and *Vicia sepium* (-1.6 vs. +0.3%), while the grasses *Dactylis glomerata* (+8.0 vs. +2.4%) and *Trisetum flavescens* (+3.3 vs. -0.9%; mean difference between 2009 and 2012 in early mulching vs. the other treatments, respectively) increased (significant correlations were determined by t value biplot based on the C2 analysis). *T. pratense* also decreased significantly in the late mulching (-4.9%) and early hay cut treatment (-3.0%).

Tab. 2 Plant species number and yield proportions of grasses, forbs and legumes (mean ± sd) of the treatments (in 2006, there was no vegetation analysis in M_E and C_L+R: na). Management effects were determined by ANOVAs; differences between treatments are indicated by different letters.

Tab. 2 Pflanzenartenzahl und Ertragsanteile von Gräsern, Kräutern und Leguminosen (mean ± sd) der Behandlungen (in 2006 wurde keine Vegetationsanalyse in M_E und C_L+R durchgeführt: na). Bewirtschaftungseffekte wurden mit ANOVAs ermittelt; Unterschiede zwischen Behandlungen sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

	C_L	C_L+R	C_E	M_L	M_E	HER	HER+RS	P-Value Treatment
Plant species number								
2006	30 ± 5 a	na	32 ± 4 a	31 ± 6 a	na	31 ± 2 a	33 ± 5 a	0.888
2009	36 ± 6	34 ± 6 ab	37 ± 5 b	37 ± 4 ab	28 ± 5 ab	25 ± 4 ab	25 ± 3 a	0.027
2012	39 ± 3 b	33 ± 5 ab	37 ± 6 b	29 ± 7 ab	34 ± 3 ab	25 ± 2 a	26 ± 5 a	0.014
Grass, %								
2006	41 ± 6 a	na	43 ± 8 a	43 ± 3 a	na	39 ± 3 a	41 ± 4 a	0.485
2009	43 ± 10 a	65 ± 22	43 ± 15 a	48 ± 16 a	55 ± 9 ab	87 ± 6 c	81 ± 10	0.005
2012	44 ± 3 a	53 ± 8 a	49 ± 5 a	58 ± 23	58 ± 3 ab	84 ± 8 c	77 ± 12	0.002
Forbs, %								
2006	54 ± 6 a	na	52 ± 7 a	52 ± 3 a	na	57 ± 3 a	55 ± 5 a	0.570
2009	53 ± 10	32 ± 19 ab	43 ± 10	46 ± 13 b	36 ± 5 ab	13 ± 6 a	19 ± 10	0.003
2012	52 ± 3 c	44 ± 9 c	46 ± 7 c	38 ± 18	40 ± 5 c	15 ± 7 a	20 ± 10	0.002
Legumes, %								
2006	5 ± 1 a	na	5 ± 1 a	5 ± 0 a	na	5 ± 1 a	4 ± 2 a	0.627
2009	4 ± 2 bc	3 ± 3 b	14 ± 7 c	8 ± 2 bc	9 ± 5 bc	0 ± 0 a	0 ± 0 a	<0.001
2012	3 ± 1 a	3 ± 1 a	5 ± 2 a	4 ± 5 a	2 ± 3 a	1 ± 1 a	3 ± 2 a	0.348

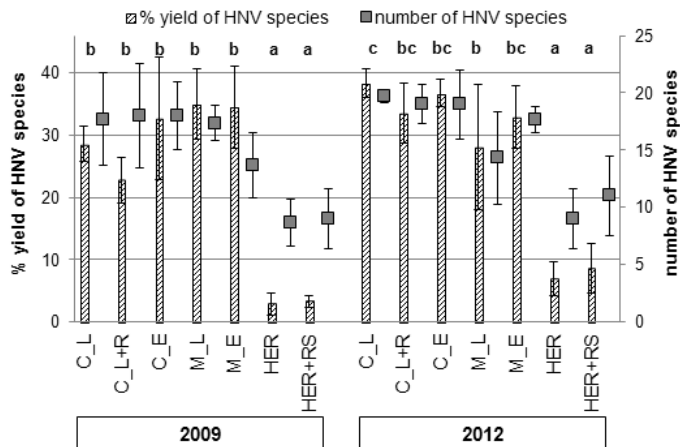


Fig. 2 Yield proportion and number of high nature value (HNV) species in plots of different management measure. Significant differences in the yield proportion of HNV species between treatments within 2009 or 2012 are indicated by different letters ($P \leq 0.001$).

Abb. 2 Ertragsanteil und Anzahl an high nature value (HNV)-Arten in den unterschiedlich bewirtschafteten Flächen. Signifikante Unterschiede im Ertragsanteil der HNV-Arten zwischen den Behandlungen innerhalb 2009 bzw. 2012 sind durch unterschiedliche Buchstaben ($P \leq 0.001$) gekennzeichnet.

Tab. 3 Mowing (M) and treading tolerance (T; ELLENBERG et al., 1992) and mean yield proportion of selected species (mean yield proportion $\geq 0.5\%$) whose abundance was significantly positively (+) or negatively (-) influenced by one or more not herbicide-treated treatments (values in brackets, respectively; $P < 0.05$; determined by t value biplots; such correlations of these species were not found in 2006). For the herbicide treatments no statistical test was possible, as the variance in species abundance within these treatments was negligible.

Tab. 3 Mahd- (M) und Tritttoleranz (T; ELLENBERG et al., 1992) sowie mittlerer Ertragsanteil ausgewählter Arten ($\geq 0.5\%$ mittlerer Ertragsanteil), deren Vorkommen signifikant positiv (+) oder negativ (-), (Angabe jeweils in Klammern) durch eine oder mehrere der nicht Herbizid-behandelten Varianten beeinflusst war ($P < 0.05$; ermittelt über t value biplots; solche Art-Behandlungs-Korrelationen wurden nicht in 2006 gefunden). Für die Herbizid-Behandlungen war aufgrund geringfügiger Varianz im Vorkommen der Arten kein statistischer Test möglich.

		M	T	CUT _I	CUT _{I+M}	CUT _e	MUL _I	MUL _e	HER	HER+S
Early cutting effect										
<i>Vicia sepium</i>	2009	6	2	1.4	1.3	1.7	1.1	2.3 (+)	0.1	0.2
	2012			2.0	1.7	1.7	1.1	0.7	0.7	0.5
<i>Alopecurus pratensis</i>	2009	7	4	5.0	6.7	0.4	2.3	7.7	2.3	9.4
	2012			5.3	8.7	1.7	4.7	10.7	3.0	8.3
<i>Dactylis glomerata</i>	2009	8	6	8.0	10.0	9.0	9.0	4.3 (-)	13.3	10.0
	2012			10.3	12.3	11.0	15.0	12.3	13.3	11.7
<i>Holcus lanatus</i>	2009	6	4	0.7	1.1	0.7	0.5	0.0 (-)	2.3	2.1
	2012			1.7	1.3	2.4	1.0	0.4	3.3	2.7
<i>Anthoxanthum</i>	2009	7	5	0.7	0.2	0.4	0.0	0.0 (-)	1.4	1.1
	2012			1.3	1.4	0.7	0.4	2.3	3.0	2.3
'Medium' cutting effect										
<i>Crepis biennis</i>	2009	6	2	0.7	0.7	4.7	1.0	4.7 (+)	0.0	0.0
	2012			1.7	1.1	4.0	1.1	0.7	0.0	0.7
<i>Taraxacum officinale</i>	2009	8	7	3.3	6.4	5.0	2.7	2.7	0.2	0.2
	2012			2.1	1.7	3.7	2.3	3.3	0.1	1.0
<i>Plantago lanceolata</i>	2009	7	6	1.4	0.7	2.7	1.7	2.0	0.1	0.2
	2012			2.1	1.7	3.7	1.7	5.3	1.1	1.7
Late cutting effect										
<i>Rhinanthus alectorolophus</i>	2009	4	2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	2012			2.3	1.3 (+)	0.4	0.0	1.0 (+)	0.0	0.1

Discussion

Change in *C. autumnale* numbers

In all treatments, at least a slight decrease in *C. autumnale* was observed. Herbicides reduced – in accordance with the producer information – only affect dicot species, but did not affect the monocot *C. autumnale*. The effectiveness of herbicide application depends on its selectivity; therefore the suitability of herbicides in reducing *C. autumnale* may vary (WINTER et al., 2011). Trampling intensive grazing in spring (GEHRING and THYSSEN, 2004; ROTH and KOLLAS, 2009) or rolling are recommended (BRIEMLE, 2006) as control measures in order to disrupt the substance exchange between above- and belowground parts of *C. autumnale*. In the study, the expectation of a significant reduction of *C. autumnale* due to its low trampling tolerance (value 3; ELLENBERG et al., 1992) was not confirmed; it was observed that only few *C. autumnale* stems were broken.

Mulching in April or May were the only management measures that significantly reduced the number of *C. autumnale*; this positive effect was first observed after three experimental years. From March to May the leaves of *C. autumnale* are intensively growing and simultaneously the belowground reserves in the mother corm are depleted (FRANKOVÁ et al., 2004). The nutrient and starch content in the corm is lowest in April, but then increases again until June or July (JUNG et al.,

2012). Accordingly, the late hay cut, occurring during that time, had no effect on *C. autumnale* and moreover was too late to foreclose the ripening and further spread of the seeds. The early hay cut – on the other hand – carried out when the restoring of energy reserves into the belowground (daughter) corm was just in progress (FRANKOVÁ *et al.*, 2004) but had not ceased yet (JUNG *et al.*, 2012) - clearly decreased *C. autumnale* - though not significantly - after six experimental years. Interestingly, the differences between treatments found in 2009 did not increase significantly in the following years. Our findings are in accordance with JUNG *et al.* (2010) and WINTER *et al.* (2011), who found a reduced number of *C. autumnale* in all early cutting regimes, especially in the April and May cut regime.

Management effects on vegetation composition

The application of the not selective, dicot-specific herbicides had an overriding effect on vegetation composition; it resulted in grass-dominated species-poor swards with significantly lower number and yield proportion of HNV species. Accordingly the abundance of several frequently occurring forb species like *Geranium pratense* and *Trifolium pratense* were around zero. Above others the newly arisen gaps were taken over by two of the most abundant grasses: *Lolium perenne* and *Trisetum flavescens*. As the seed formation at the cutting date of the herbicide treatments was sufficient for closing gaps (personal observation: Jörg Schmid), reseeding – that had not affected vegetation composition in 2009 – was stopped in 2009.

Species-rich grassland typically comprises large proportions of plant species with late (and thus slower) development (NITSCHKE and NITSCHKE, 1994). Advanced cutting dates therefore result in decreased plant species-richness and changes in vegetation composition (KIRKHAM and TALLOWIN, 1995). The cutting date – amongst other factors – determines if plant species come to flower and seed spread, as some species are rather in their vegetative growth after the first cut (DIERSCHKE *et al.*, 2002). Furthermore the storage of reserves is affected by the cutting date. If the sward is repeatedly cut before sufficient reserves are stored, a plant species' regrowth and maintenance is at risk (VOIGTLÄNDER *et al.*, 1987). Apart from that, in mulching treatments the mulch material might – depending on the height of the mulch layer - decay slowly and thus suffocate subadjacent plants especially on relatively moist sites. Thus, the late hay cut as the common management on the site, preserved the initially high plant species-richness and moreover facilitated the annual *Rhinanthus alectorolophus* that was identified as indicator species of this treatment the most. Rolling did not affect vegetation composition significantly.

Early mulching – by contrast – had significant effects on vegetation composition in 2009 and 2012 and resulted in a significant change in vegetation composition during these three years. A significantly lower proportion of the HNV species *Anthoxanthum odoratum*, a species 'susceptible to variations in cutting date' (KIRKHAM and TALLOWIN, 1995), was found in 2009, but not in 2012. This inconsistency might be related to 'cyclic changes' (VAN DEN BERGH, 1979 in OOMES and MOOI, 1981) related to naturally unsteady environmental conditions, resulting in changing resource conditions for plant species (DAVIS *et al.*, 2000). On the other hand, there was a general increase in several grass species at the expense of some larger growing dicot species typical for extensively used meadows like *Crepis biennis* (-3.9%), *Vicia sepium* (-1.6%), *Trifolium pratense* (-4.2%), and *Tragopogon pratense* (-1.2%): *Trisetum flavescens*, occurring on extensively used meadows, and *Dactylis glomerata* that tolerates frequent utilization, increased significantly from 2009 to 2012. Likewise, the abundance of the rapidly developing grass *Alopecurus pratensis* (OOMES and MOOI, 1981), suitable for frequent (VOIGTLÄNDER *et al.*, 1987) and early cuts, was positively correlated to early mulching in 2012 and *Festuca rubra*, that reached higher yield proportions in the early mulching compared to the other treatments in 2009 and 2012 was identified as indicator species in 2012. Higher abundance of *F. rubra* in plots with advanced utilization compared to a late hay cut was also found by SMITH *et al.* (2002). As the mean interval between mulching and the following late hay cut was with around seven or ten weeks (late and early mulching treatment, respectively) relatively long, these effects are unlikely to be due to mowing in short intervals (DIERSCHKE *et al.*, 2002). The change in forb and grass proportions was therefore likely due to a higher sensitivity of

the forbs against the almost complete removal of their photosynthetic organs (VOIGTLÄNDER *et al.*, 1987) at an early stage of regrowth. It is, however, startling that mulching in April affected a larger number of forb species compared to mulching in May, as the growth of plant species will be more advanced then. *Cardamine pratensis*, indicator species of the early mulching treatment in 2009, decreased significantly from 2009 to 2012; the growth of this early developing species was obviously disturbed by early mulching. Similar, but fewer effects as for the early mulching treatment were found for other treatments with advanced cutting date: *D. glomerata* increased significantly in the late mulching treatment (+6%) and *Taraxacum officinale* and *Plantago lanceolata*, whose regrowth ability is hardly affected by a cut as they grow close to the ground, also profited from better light conditions in some of the treatments with advanced cutting date. *T. pratense*, a species common in extensively used grassland, in contrast decreased in the late mulching (-4.9%) and early hay cut treatment (-3.0%).

As a survey on how plant species of high value in plant species-rich grassland are affected by the treatments, the number and yield proportion of high nature value plant species (PAN *et al.*, 2011) were examined. In 2012, the proportion of HNV species was significantly lower in the late mulching treatment compared to the late hay cut. The Bray-Curtis dissimilarity (TER BRAAK and ŠMILAUER, 2002), that measures the dissimilarity in vegetation composition between treatments by considering both the plant species present and their yield proportions is in accordance with this result: the early mulching treatment was more similar to the late hay cut than the mulching treatment (0.34 ± 0.04 vs. 0.37 ± 0.04 , mean \pm sd, respectively), in spite of the above mentioned significant effects of the early mulching treatment on vegetation composition. In May, the storage reserves are more depleted than in April. Therefore, regular cuts in May, typically aiming at ensiling the sward, results in species-impooverished swards on the long-term (e.g. JEFFERSON, 2005). Otherwise, a late second cut allowing seed spread following an early first cut might – with respect to the maintenance of plant species-richness – be an alternative to a late first hay cut (PLANTUREUX *et al.*, 2005).

To conclude, both early and late mulching effectively reduced the number of *C. autumnale*, but simultaneously affected the vegetation composition – though the effects found were not always consistent in 2009 and 2012. Early mulching changed the proportion of several grass and dicot species more than other treatments with advanced cutting date, while late mulching resulted in a decreased proportion of HNV species in 2012. Further observations are needed to verify the suitability of the mulching treatments in preserving plant species-richness while controlling *C. autumnale*, as both might have long-term effects on the sward composition and its structure.

Acknowledgement

We thank Jörg Schmid and Ute Schneider for their involvement in the realization of the experiment. Thanks are given to Karin King, Sylvia Engel, Christine Goyert, Theresa Hummler, Siegfried Rothenhäusler, Julia Kunz, Daniela Häberle and Steffen Glück for data acquisition and Katja Herrmann for the English revision.

References

- BORCARD, D., F. GILLET and P. LEGENDRE, 2011: Numerical ecology with R. New York, Springer, 306.
- BRIEMLE, G., 2006: Problem-Unkraut Herbstzeitlose und ihre Bekämpfung: <http://www.lazbw.de/pb/Lde/Startseite/Gruenlandwirtschaft+und+Futterbau/Herbstzeitlose+und+ihre+Bekaempfung>.
- CLINI^{PHARM} / CLINI^{TOX}, 2013: A computer-based drug and poison information system for veterinarians. Institut für Veterinärpharmakologie und-toxikologie, Zürich Schweiz: <http://www.vetpharm.uzh.ch/indexcpt.htm>.
- DAVIS, M. A., P. J. GRIME and K. THOMPSON, 2000: Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *J. Ecol.* **88**, 528–534.
- DIERSCHKE, H., G. BRIEMLE and A. KRATOCHWIL, 2002: Kulturgrasland. Stuttgart, Ulmer, **239**.
- ELLENBERG, H., H. E. WEBER, R. DUJELL, V. WIRTH, W. WEBER and D. PAULISSEN, 1992: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*. **18**, 248.
- ELSÄSSER, M., C. GOYERT and J. SCHMID, 2009: Bekämpfung von Herbstzeitlosen durch mechanische und chemische Maßnahmen und Verwertung der Aufwüchse im Vergleich unterschiedlicher Mutterkuhrassen. *Landinfo* (5), 22–24.

- FRANKOVÁ, L., K. CIBÍROVÁ, K. BOKA and O. GAŠPAŘIKOVÁ, 2004: The role of the roots in the life strategy of *Colchicum autumnale*. *Biologia, Bratislava* **59** (13), 87–93.
- GEHRING, K. and S. THYSSEN, 2004: Unkraut-Steckbrief: Herbstzeitlose. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): <http://www.lfl-design3.bayern.de/ips/landwirtschaft/unkrautsteckbrief/08891/>.
- JEFFERSON, R. G., 2005: The conservation management of upland hay meadows in Britain: a review. *Grass and Forage Sci.* (60), 322–331.
- JUNG, L. S., R. LUTZ ECKSTEIN, A. OTTE and T. W. DONATH, 2012: Above- and below-ground nutrient and alkaloid dynamics in *Colchicum autumnale*: optimal mowing dates for population control or low hay toxicity. *Weed Res.* **52** (4), 348–357.
- JUNG, L. S., S. WINTER, R. LUTZ ECKSTEIN, M. KRIECHBAUM, G. KARRER, E. WELK, M. ELSÄSSER, T. W. DONATH and A. OTTE, 2011: *Colchicum autumnale* L. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics **13** (3), 227–244.
- JUNG, L., S. WINTER, M. KRIECHBAUM, R. ECKSTEIN, T. DONATH and A. OTTE, 2010: Regulation of meadow saffron (*Colchicum autumnale* L.) in intensively managed grasslands. *Grassland Science in Europe* (15), 660–662.
- KIRKHAM, F. W. and J. R. B. TALLOWIN, 1995: The influence of cutting date and previous fertilizer treatment on the productivity and botanical composition of species-rich hay meadows on the Somerset Levels. *Grass and Forage Sci.* (50), 365–377.
- KLAPP, E. and A. STÄHLIN, 1936: Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistung des Grünlandes. Stuttgart, *Ulmer*, 122.
- LANDWIRTSCHAFTSAMT ZOLLERNALBKREIS, 2008: Dienstbezirksbeschreibung: https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/pdf/n/Nat%C3%BCrliche%20Grundlagen_Zollernalbkreis_2008.pdf.
- LEPŠ, J. and P. ŠMILAUER, 2003: Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge, *Cambridge Univ. Press*, 269.
- NITSCHKE, S. and L. NITSCHKE, 1994: Extensive Grünlandnutzung. Radebeul, *Neumann*, 247.
- OBERDORFER, E., T. MÜLLER and D. KORNECK, 1990: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. Stuttgart, *Ulmer*, 1051.
- OOMES, M. J. M. and H. MOOI, 1981: The effect of cutting and fertilizing on the floristic composition and production of an *Arrhenatherion elatioris* grassland. *Vegetatio* (48), 233–239.
- PAN, IFAB, INL, 2011: Umsetzung des High Nature Value Farmland-Indikators in Deutschland – Ergebnisse eines Forschungsvorhabens (UFOPLAN FKZ 3508 89 0400) im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz.
- PLANTUREUX, S., A. PEETERS and D. MCCracken, 2005: Biodiversity in intensive grasslands: effect of management, improvement and challenges. *Grassland Science in Europe* (10), 417–426.
- POTT, R., 1992: Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. Stuttgart, *Ulmer*, 427.
- ROTH, W. and K. KOLLAS, 2009: Grünlandgiftpflanzen. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Eifel.
- SMITH, R., R. SHIEL, D. MILLWARD, P. CORKHILL and R. A. SANDERSON, 2002: Soil seed banks and the effects of meadow management on vegetation change in a 10-year meadow field trial. *J. Appl. Ecol.* (39), 279–293.
- STÄHLIN, A., 1969: Maßnahmen zur Bekämpfung von Grünlandunkräutern. *Das Wirtschaftseigene Futter* (15), 249–334.
- TER BRAAK, C. J. F. and P. ŠMILAUER, 2002: CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide. Ithaca, NY, USA, Microcomputer Power, 500.
- VOIGTLÄNDER, G., H. JACOB and P. BOEKER, 1987: Grünlandwirtschaft und Futterbau. Stuttgart, *Ulmer*, 480.
- WINTER, S., M. PENKER and M. KRIECHBAUM, 2011: Integrating farmers' knowledge on toxic plants and grassland management: a case study on *Colchicum autumnale* in Austria. *Biodivers. Conserv.* **20** (8), 1763–1787.
- ZUUR, A. F., E. N. IENO, N. J. WALKER, A. A. SAVELIEV and G. M. SMITH, 2009: Mixed effects models and extensions in ecology with r. New York, *Springer*, 574.

Neue Unkrautbekämpfungsstrategien im Mais unter Beachtung enger Maisfruchtfolgen, zunehmender ALS-Resistenzen bei typischen Unkräutern und wirkstoffspezifischer Applikationseinschränkungen

New weed control strategies in maize considering narrow crop rotations with maize, greater ALS-resistance in common weeds and application restrictions with regard to active substance

Katrin Ewert^{1*}, Gerhard Schröder², Ewa Meinschmidt³ und Elke Bergmann⁴

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Apoldaer Straße 4, D-07774 Dornburg-Camburg

²Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Steinplatz 1, D-15806 Zossen OT Wünsdorf

³Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, D-01683 Nossen

⁴Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, D-06406 Bernburg

*Korrespondierender Autor, katrin.ewert@tll.thueringen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.080

Zusammenfassung

Für die Unkrautbekämpfung im Mais steht eine Reihe von Herbiziden mit unterschiedlicher HRAC-Einstufung zur Verfügung. Infolge der engen Maisfruchtfolgen insbesondere durch die Maismonokulturen werden die sommeranuellen, an die Maiskultur angepassten und zunehmend neueren wärmeliebenden Unkrautarten gefördert. Andererseits zeigen die neuen Nachweise von Acetolactatsynthase (ALS)-Target-Site Resistenz bei *Echinochloa crus-galli* (Hühnerhirse) und *Amaranthus retroflexus* (Zurückgebogener Amarant) in Brandenburg, *Stellaria media* (Vogelmiere) in Sachsen sowie *Matricaria recutita* (Echte Kamille) und *Tripleurospermum perforatum* (Geruchlose Kamille) in Brandenburg und Thüringen, dass insbesondere der Einsatz von Sulfonylharnstoffen in Zukunft nur im Rahmen einer Anti-Resistenzstrategie erfolgen darf, um die Selektion resistenter Biotypen nicht weiter zu fördern. Weiterhin besteht zumindest in wassersensiblen Gebieten die Forderung, den Einsatz von bestimmten Wirkstoffen, wie z. B. Terbutylazin oder Bentazon zu minimieren bzw. zu substituieren. Die Bekämpfung von *E. crus-galli* und *Polygonum convolvulus* (Windknöterich) mit Sulfonylharnstoff- oder/und Terbutylazin-freien Herbiziden wird diskutiert.

Stichwörter: ALS-Target-Site-Resistenz, Herbizide, Sulfonylharnstoffe, Terbutylazin, Unkrautbekämpfung

Abstract

Many herbicides with different HRAC-groups are available for weed control in maize. Because of narrow maize crop rotation summer weeds and warmth loving weeds are encouraged. On the other hand the new confirmed cases of an ALS target site resistance in the weed species *Echinochloa crus-galli* and *Amaranthus retroflexus* in Brandenburg, *Stellaria media* in Saxony and *Matricaria recutita* and *Tripleurospermum perforatum* in Brandenburg and Thuringia, warn that in the future the sulfonylureas must be used only according to the management of herbicide resistance. In this way the selection of resistant weed biotypes will be prevented. Moreover in protected water areas it may be a requirement to reduce and to substitute the input of some active substances, for example terbutylazine and bentazon. The control of *E. crus-galli* and *P. convolvulus* with non-sulfonylurea or/and non-terbutylazine herbicides according to management of herbicide resistance will be discussed.

Keywords: ALS-target-site resistance, herbicides, sulfonylureas, terbutylazine, weed control

Einleitung

Im Jahr 2012 wurde in Deutschland auf mehr als 2,5 Millionen Hektar Mais angebaut. Gegenüber dem Jahr 2003 hat der Anbau im Jahr 2012 bei Silomais um 73 % und bei Körnermais um 13,5 % zugenommen (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013). Im Zeitraum von 2003 bis 2013 erhöhte sich der Anbauumfang in den Ländern Brandenburg um 63 %, in Sachsen-Anhalt um 60 %, in Sachsen um 25 % und in Thüringen um 33 %. Infolge der Förderung der erneuerbaren Energien wurde insbesondere der Silomais als bedeutender Rohstoff für die Biogasanlagen verstärkt angebaut. Aus ökonomischen Gründen hat sich der Maisanbau um große Milchviehanlagen und um die Biogasanlagen konzentriert. Da der Maisanbau prinzipiell in Monokultur möglich ist, wurde in

diesem Bereich der mehrmalige Anbau bis zur Monokultur bevorzugt. Um unkrautkonkurrenzbedingte Ertragsreduktionen weitgehend zu vermeiden, sollte die Herbizidapplikation im 3- bis 6-Blattstadium des Mais erfolgen (PICKERT, 2000). Um dieses Ziel zu erreichen, erfolgt im Regelfall in diesem Zeitraum eine Unkrautbekämpfungsmaßnahme. Wird diese immer mit den gleichen Wirkstoffen bzw. mit Wirkstoffen aus der gleichen Wirkstoffgruppe vorgenommen, ist die Selektion von resistenten Biotypen möglich. Bereits in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden Triazin-resistente Unkrautarten in Deutschland registriert (KEES, 1988).

Die Einführung der Sulfonylharnstoffe (erster Wirkstoff Rimsulfuron 1989) in der Unkrautbekämpfung im Mais ermöglichte erstmals den selektiven Herbizideinsatz im Nachauflauf gegen einjährige und ausdauernde Unkräuter und Ungräser (DROBNY *et al.*, 2012). Erste Unkrautpopulationen in Europa (Dänemark) mit der Resistenz gegen ALS-Hemmer konnten 1991 bei *S. media* nachgewiesen werden (DROBNY *et al.*, 2012). Der erste Biotyp von *A. retroflexus* mit einer Kreuzresistenz gegen Sulfonylharnstoffe und Imidazolinone wurde nach wiederholter Anwendung von Thifensulfuron-methyl und Imazethapyr in Sojabohnen in Italien registriert (SCARABEL *et al.*, 2007). In den letzten Jahren mehren sich die Nachweise insbesondere von Sulfonylharnstoff-resistenten Unkräutern und Ungräsern (HEAP, 2013). Über *S. media* und *Papaver rhoeas* (Klatschmohn) Populationen mit ALS-Target-Site-Resistenz gegen Sulfonylharnstoffe wurde in mehreren europäischen Ländern berichtet (MARSHALL *et al.*, 2010). In Deutschland trat im Jahr 2007 die erste Unkrautpopulation mit ALS-Target-Site-Resistenz bei *M. recutita* (*M. recutita* oder *M. chamomilla*) auf einzelnen Schlägen in Schleswig-Holstein auf (DROBNY *et al.*, 2008). Eine genauere Analyse des von Resistenz betroffenen Schlages ergab eine mehrjährige Anwendung der Sulfonylharnstoffe auf die Kamille. Ein deutschlandweites Monitoring zur ALS-Resistenz bei Kamille-Arten bestätigte resistente Populationen bei der Echten und Geruchlosen Kamille in mehreren Bundesländern (ULBER, 2012). Auf Maisflächen wurden im Jahr 2012 in Brandenburg Sulfonylharnstoff-resistente *E. crus-galli* und *A. retroflexus* nachgewiesen (HEAP, 2013). Bei der Ermittlung der Schlaghistorie konnte festgestellt werden, dass nach einem mehrjährigen Maisanbau verbunden mit dem wiederholten Einsatz von Wirkstoffen aus HRAC-Gruppe B die Selektion der resistenten Biotypen erfolgen konnte. Da es sich bei den Sulfonylharnstoff-resistenten dikotylen Unkrautarten und der Hühnerhirse um nachgewiesene ALS-Target-Site-Resistenzen handelt, kann mit gezieltem Wirkstoffgruppenwechsel der weiteren Selektion der resistenten Biotypen entgegen gewirkt werden.

Die Abbildung 1 zeigt den aktuellen Stand der nachgewiesenen Sulfonylharnstoff-resistenten dikotylen Unkräuter und der Hühnerhirse in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Bis auf *P. rhoeas* haben diese Arten eine wirtschaftliche Bedeutung im Maisanbau. Während die Veränderung der Aminosäure Prolin 197 nur eine Minderwirkung der Gruppe der Sulfonylharnstoffe zur Folge hat, führt die Veränderung von Tryptophan 574 zur Wirkungsminderung aller ALS-Hemmer (Sulfonylharnstoffe, Imidazolinone, Triazolpyrimidine, Sulfonylamino-Carbonyl-Triazolinone und Pyrimidinyl benzoate). Diese unterschiedlichen Resistenzmutationen sind insbesondere bei der Auswahl der Herbizide innerhalb der Fruchtfolge zu berücksichtigen.



Abb. 1 Standorte mit nachgewiesenen ALS-Target-Site-Resistenzen bei den 5 Unkrautarten (online Quelle: www.weedscience.org; Angaben PSM-Industrie).

Fig. 1 Locations with confirmed cases of ALS-target-site resistance in five weed species (online source: www.weedscience.org; information of industry for plant protection products).

Des Weiteren sollen Wirkstoffe, die auch in Maisherbiziden vorkommen, wie z. B. Bentazon oder Terbutylazin, in besonders sensiblen Wasserschutzgebieten nicht oder nur in verminderten Umfang eingesetzt werden (KÜCHLER *et al.*, 2002; SCHULTE *et al.*, 2012). Regional wird freiwillig auf den Einsatz dieser Wirkstoffe im Mais verzichtet. Welche Möglichkeiten bei der Unkrautbekämpfung im Mais bei einer stärkeren Berücksichtigung der Resistenzvermeidung und dem Verzicht auf bestimmte Wirkstoffe gegenwärtig gegeben sind, sollte mit diesen Untersuchungen ermittelt werden.

Material und Methoden

Im Rahmen des gemeinsamen Versuchsprogramms der in einer Ringversuchsgruppe zusammengeschlossenen Bundesländer Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen wurden im Zeitraum von 2004 bis 2013 insgesamt 161 Versuche in Streulage als randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen zur effektiven Unkrautkontrolle im Mais durchgeführt. Dabei wurden die Versuchsglieder entweder auf die Kontrolle des Leitunkrautes *P. convolvulus* oder des Leitungsgrases *E. crus-galli* abgestimmt. Zur Auswertung konnten 83 Versuche mit dem Ziel der vorrangigen Bekämpfung von *P. convolvulus* bzw. 78 Versuche zur vorrangigen Bekämpfung von *E. crus-galli* herangezogen werden. Die Auswahl der Versuchsflächen erfolgte jeweils nach der Abundanz dieser beiden Unkrautarten. Die Parzellengrößen betragen 20 bis 25 m². Die Behandlungen erfolgten mit Parzellenspritzgeräten nach GEP-Status zu den für die herbizide Wirkung optimalen Bedingungen. Die Wasseraufwandmengen betragen 300 l/ha.

Um aus der Vielzahl der Herbizide die an das meist vorkommende Unkrautspektrum passenden Wirkstoffe auswählen zu können, sind Aussagen über die Stetigkeit der Unkrautarten und ihre Vergesellschaftung notwendig. Erfasst wurden alle Unkrautarten mit einem Deckungsgrad über 1 % zum Zeitpunkt der ersten Herbizidapplikation. Die ermittelte Rangfolge der Unkräuter basiert auf der jeweils berechneten Stetigkeit nach BRAUN-BLAUNQUET (1964). Diese gibt Auskunft über den prozentualen Anteil des Vorkommens einer Art bezogen auf die Gesamtheit der untersuchten Standorte. Die Wirkung auf Schadpflanzen wurde visuell als Reduzierung der Biomasse im

Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert. Bei der Bewertung der Unkrautwirkung wurden die Ergebnisse der Abschlussbonitur mindestens zwei Monate nach dem Applikationstermin herangezogen. Die Darstellung der Wirkungsgrade erfolgte mit Boxplots, die auf der Basis der Parzellenwerte erstellt wurden. Die in den Abbildungen angegebene Zahl entspricht der Anzahl der Versuche. In der Tabelle 1 sind die in den Versuchen eingesetzten Herbizide mit ihren Wirkstoffen und Wirkstoffanteilen entsprechend der HRAC-Einstufung aufgelistet.

Tab. 1 Eingesetzte Herbizide mit ihren Wirkstoffanteilen (g/l o. kg).

Tab. 1 Applied herbicides with shares active substance (g/l or kg).

HRAC	B						C		F			K			O						
Wirkstoffe	Fomasulfuron	Iodosulfuron	Nicosulfuron	Rimsulfuron	Prosulfuron	Thiencarba-	Tritosulfuron	Bromoxynil	Terbuthylazin	Mesotrione	Sulcotrione	Tembotrione	Topramezone	Dimethenamid	Flufenacet	Metosulam	Pendimethalin	Pethoxamid	S-Metolachlor	Dicamba	
Herbizid	Wirkstoffgehalt g/l o. kg																				
Arrat							250											500			
Arigo	120		30								360										
B 235							235														
Bromotril 225 EC							225														
Buctril							225														
Calaris									330		70										
Callisto											100										
Cato			250																		
Cirontil	92		23														550				
ClioStar												50					160				
Dual Gold																		960			
Ekumis			30										75								
Gardo Gold									188								313				
Laudis												44									
Maister Power	32		1				10														
Mikado												300									
Milagro Forte			60																		
Peak					750																
Spectrum Gold									250					280							
Spectrum Plus												213		250							
Successor T									188								300				
Terano														600		25					

Ergebnisse

Bekämpfung von *E. crus-galli* und vergesellschafteten Unkrautarten mit Sulfonylharnstoff- oder/und Terbuthylazin-freien Herbiziden

Die Bonitur der unbehandelten Kontrollen von Versuchen in Streulage ergab die in Abbildung 2 dargestellte Stetigkeit der mit *E. crus-galli* vergesellschafteten Unkrautarten. Auf den Flächen mit einem bekämpfungswürdigen Besatz von *E. crus-galli* wurden ebenfalls *C. album* mit der Stetigkeit von 88 % und *P. convolvulus* mit 64 % bonitiert. Auf 26 % der Standorte kam *A. retroflexus* vor.

Auf den Standorten mit bekämpfungswürdigem Auftreten von *E. crus-galli* erreichte diese Art höhere Besatzstärken als auf den Standorten, welche zur Bekämpfung von *P. convolvulus* ausgewählt wurden.

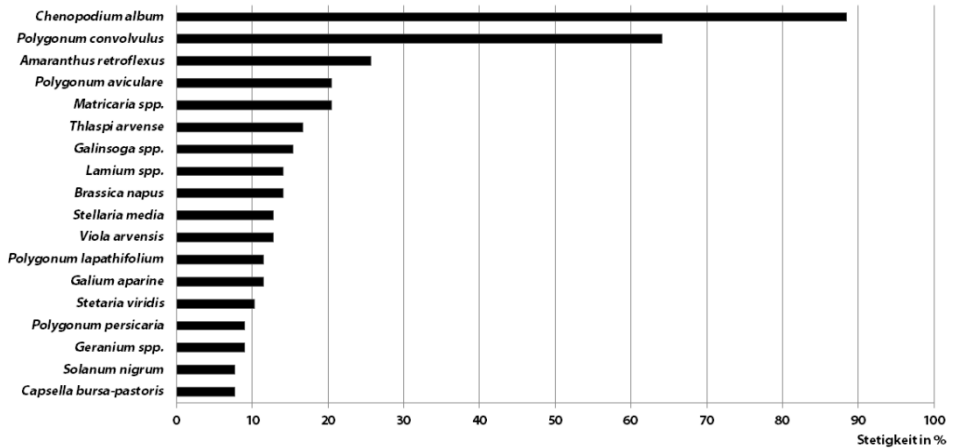


Abb. 2 Stetigkeit (%) der Unkrautarten auf 78 Versuchsflächen, die zur Bekämpfung von *E. crus-galli* ausgewählt wurden, 2004-2013.

Fig. 2 Frequency (%) of weeds on 78 trial sites which were chosen for control of *E. crus-galli*, 2004-2013.

Infolge der bereits vorhandenen ALS-Resistenzen bei einigen Unkrautarten und zur Vermeidung der weiteren Selektion von ALS-resistenten Biotypen wurden aus den Versuchen die Sulfonylharnstoff-freien Varianten bezüglich ihrer herbiziden Wirksamkeit gegenüber *E. crus-galli* bewertet.

Die Abbildung 3 zeigt, dass auch ohne Sulfonylharnstoffe *E. crus-galli* gut kontrolliert werden kann. In allen Herbizidkombinationen sind es die Wirkstoffe aus der Gruppe der Triketone (HRAC-Einstufung F), die in Verbindung mit anderen Wirkstoffgruppen, die überwiegend über den Boden wirken, diese Wirksamkeit gegenüber *E. crus-galli* realisieren. Der Vergleich der Tankmischungen Laudis (Tembotrione) + Gardo Gold (Terbuthylazin, S-Metolachlor) und Laudis (Tembotrione) + Butрил (Bromoxynil) zeigt, wie wichtig die Bodenwirkstoffe für die Residualwirkung sind.

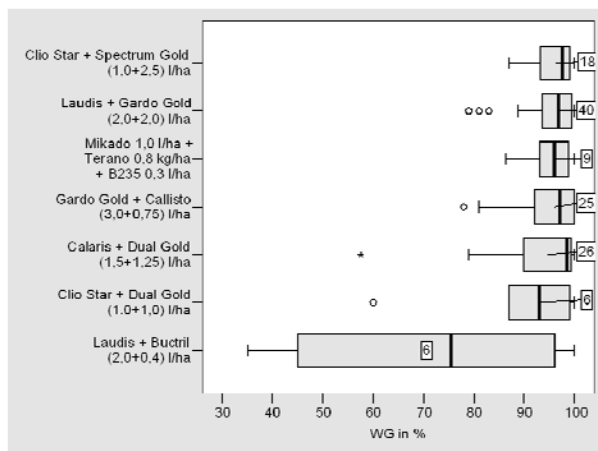


Abb. 3 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber *E. crus-galli*.

Fig. 3 Efficacy (%) of non-sulfonylurea herbicide treatments against *E. crus-galli*.

Da neben der Hühnerhirse auch weitere dikotyle Unkräuter bekämpft werden müssen, sind je nach der schlagspezifischen Verunkrautungssituation geeignete Varianten zu bevorzugen. Die Tabelle 2 zeigt die erzielten Wirkungsgrade der Herbizidbehandlungen gegenüber den am häufigsten mit *E. crus-galli* auftretenden dikotylen Unkrautarten. Die Tankmischung Clio Star (Topramezone + Dicamba) + Spectrum Gold (Dimethenamid-P + Terbutylazin) erreichte Wirkungsgrade über 95 % gegenüber den dargestellten Unkrautarten. Bei der Bekämpfung von *P. convolvulus* zeigten 4 von 7 geprüften Herbizidvarianten verminderte Wirkungsgrade unter 90 %. Während *C. album*, *A. retroflexus*, *P. aviculare* und *S. media* mit hohen Wirkungsgraden erfasst wurden, besteht speziell bei der Tankmischung Dual Gold (S-Metolachlor) + Clio Star (Topramezone + Dicamba) eine Wirkungsschwäche gegenüber den Kamille-Arten.

Tab. 2 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber den am häufigsten mit *E. crus-galli* vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten.

Tab. 2 Efficacy (%) of non-sulfonylurea herbicide treatments against broad-leaved weed occurrence with *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL n	POLCO n	AMARE n	POLAV n	MATSS n	STEME n						
Clio Star + Spectrum Gold	1,0+ 2,5	99	19	95	13	100	3	95	8	97	8	100	1
Laudis + Gardo Gold	2,0+ 2,0	98	46	87	27	99	8	99	14	92	13	92	3
Mikado + Terano + B235	1,0+ 0,8+ 0,3	97	15	84	9	100	2	90	8	99	5	98	2
Gardo Gold + Callisto	3,0+ 0,75	97	28	98	20	94	7	96	11	99	5	100	4
Calaris + Dual Gold	1,5+ 1,25	100	35	94	24	99	7	95	13	99	10	92	5
Dual Gold + Clio Star	1,0+ 1	100	4	74	4	100	2	98	1	57	1	95	1
Laudis + Buctril	2,0+ 0,4	100	4	63	4	97	2	100	1	94	1	99	1

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; POLCO = *Windknöterich*; AMARE = *Amaranthus retroflexus*; POLAV = *Polygonum aviculare*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

Da mittels spezifischer Umweltprogramme in einigen wassersensiblen Gebieten auf den Einsatz des Wirkstoffes Terbutylazin verzichtet wird, konnte aus dem Datenpool der Versuche die Herbizidleistung von Terbutylazin-freien Herbiziden bezüglich ihrer Wirkung gegenüber *E. crus-galli* ermittelt werden. Da Behandlungen ohne Terbutylazin in der landwirtschaftlichen Praxis bisher keine Bedeutung haben, lagen nur wenige Versuchsergebnisse vor. Aus der Abbildung 4 ist ersichtlich, dass mit den wenigen Varianten auch ohne Terbutylazin Wirkungsgrade im Median um die 95 % erreichbar sind.

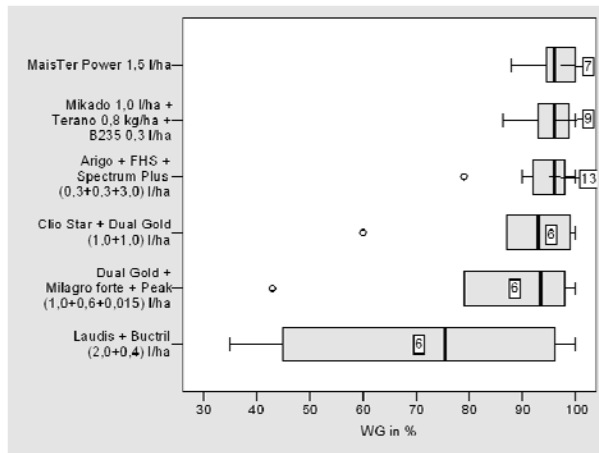


Abb. 4 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin-freien Herbizidvarianten gegenüber *E. crus-galli*.

Fig. 4 Efficacy (%) of non-terbutylazine herbicide treatments against *E. crus-galli*.

Mit den Terbutylazin-freien Herbizidbehandlungen kann insbesondere *P. convolvulus* nur mit MaisTer Power mit durchschnittlich 94 % Wirkung bekämpft werden. Alle anderen Varianten erreichten unzureichende Wirkungsgrade gegenüber dieser Art (Tab. 3).

Tab. 3 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin-freien Herbizidvarianten gegenüber den am häufigsten mit *E. crus-galli* vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten.

Tab. 3 Efficiency (%) of non-terbutylazine herbicide treatments against broad-leaved weed occurrence with *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL	n	POLCO	n	AMARE	n	POLAV	n	MATSS	n	STEME	n
MaisTer Power	1,5	98	13	94	19	67	3	99	7	98	10	100	1
Mikado + Terano + B235	1,0 + 0,8 + 0,3	97	15	84	9	100	2	90	8	99	5	98	2
Arigo + FHS + Spectrum Plus	0,3 + 0,3 + 3	99	13	81	9	100	3	86	4	96	4	100	1
Dual Gold + Clio Star	1,0 + 1	100	4	74	4	100	2	98	1	57	1	95	1
Dual Gold + Milagro forte + Peak	1,0 + 0,6 + 0,015	99	4	91	4	100	2	91	1	99	1	98	1
Laudis + Buctril	2,0 + 0,4	100	4	63	4	97	2	100	1	94	1	99	1

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; POLCO = *Windknöterich*; AMARE = *Amaranthus retroflexus*; POLAV = *Vogelknöterich*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

Durch den Verzicht auf den Wirkstoff Terbutylazin und auf die Sulfonylharnstoffe bei der Unkrautbekämpfung im Mais kann *E. crus-galli* nur mit zwei Herbizidvarianten noch mit einem Wirkungsgrad von mehr als 90 % (Median) bekämpft werden (Abb. 5). Dabei nimmt die Streuung der Wirkungsgrade insbesondere bei den Varianten mit geringerer Bodenwirkung deutlich zu.

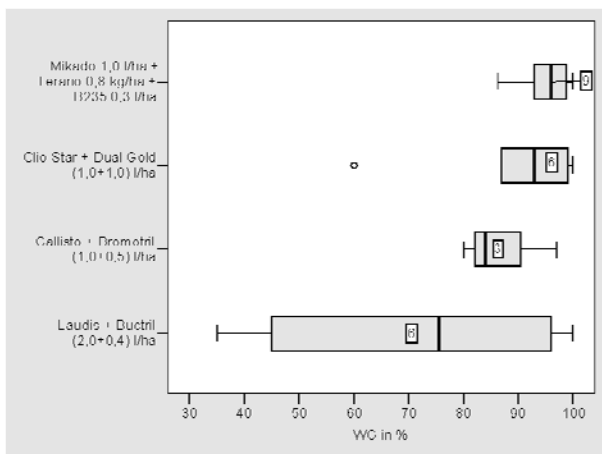


Abb. 5 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin- und Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber *E. crus-galli*.

Fig. 5 Efficacy (%) of non-terbutylazine and non-sulfonyleurea herbicide treatments against *E. crus-galli*.

Auch die Bekämpfung der dikotylen Unkrautarten ist in der herbiziden Breitenwirkung nicht mehr zufriedenstellend. Insbesondere kann *P. convolvulus* nur noch mit Wirkungsgraden unter 90 % nicht ausreichend kontrolliert werden (Tab. 4). *P. aviculare* war mit durchschnittlich 92 % Wirkung über alle dargestellten Varianten besser zu bekämpfen als *P. convolvulus*. Im Mittel über alle Behandlungen wurden eine *Chenopodium*-Wirkung von 99 % und eine *Amaranthus*-Wirkung von 98 % erreicht.

Tab. 4 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin- und Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber den mit *E. crus-galli* am häufigsten vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten.

Tab. 4 Efficacy (%) of non-terbutylazine herbicide treatments and non-sulfonyleurea herbicide treatments against broad-leaved weed occurrence with *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL n	POLCO n	AMARE n	POLAV n	MATSS n	STEME n						
Mikado + Terano + B235	1,0 + 0,8 + 0,3	97	15	84	9	100	2	90	8	99	5	98	2
Dual Gold + Clio Star	1,0 + 1	100	4	74	4	100	2	98	1	57	1	95	1
Callisto + Bromotril 225 EC	1,0 + 0,5	100	6	82	10	96	3	78	3	88	6	-	-
Laudis + Ductril	2,0 + 0,4	100	4	63	4	97	2	100	1	94	1	99	1

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; POLCO = *Windenknöterich*; AMARE = *Amaranthus retroflexus*; POLAV = *Polygonum aviculare*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

Bekämpfung von *P. convolvulus* und vergesellschafteten Unkrautarten mit Sulfonylharnstoff- oder/und Terbutylazin-freien Herbiziden

Die Abbildung 6 zeigt mit welchen Unkrautarten *P. convolvulus* am häufigsten vergesellschaftet war. Auf den Standorten mit bekämpfungswürdigem *P. convolvulus*-Besatz kamen mit 77 % der Stetigkeit *C. album* und mit 58 % *E. crus-galli* vor. *P. aviculare* trat auf 37 % der Flächen auf. An jedem dritten *P. convolvulus*-Standort wurden *Matricaria*-Arten registriert. Darauf folgten *Brassica napus* (Ausfallraps) und *Viola arvensis* (Ackerstiefmütterchen). Auf den *P. convolvulus*-Standorten erreichte der Windenknöterich höhere Besatzstärken als auf den Standorten, welche zur Bekämpfung von *E. crus-galli* ausgewählt wurden.

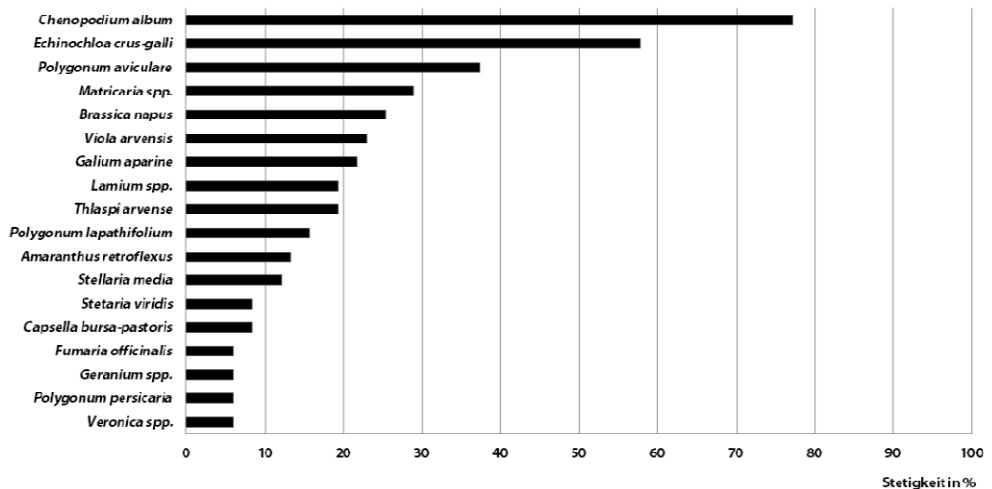


Abb. 6 Stetigkeit (%) der Unkrautarten auf 83 Versuchsflächen, die zur Bekämpfung von *P. convolvulus* ausgewählt wurden, 2004-2013.

Fig. 6 Frequency (%) of weeds on 83 trial sites, which were chosen for control of *P. convolvulus*, 2004-2013.

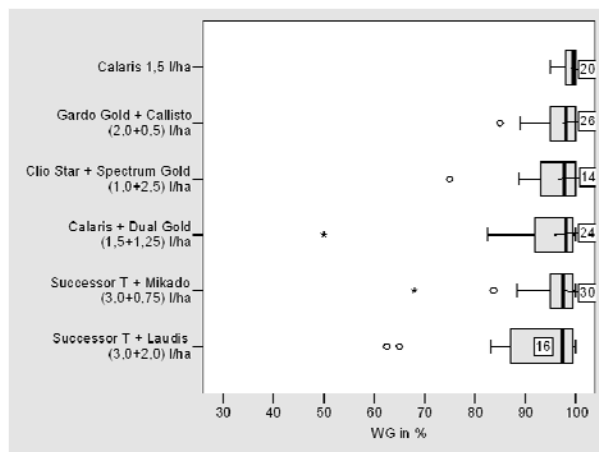


Abb. 7 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber *P. convolvulus*.

Fig. 7 Efficacy (%) of non-sulfonylurea herbicide treatments against *P. convolvulus*.

Die Wirksamkeit von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegen *P. convolvulus* zeigt die Abbildung 7. Bei allen 6 Herbizidvarianten lag der Median über 98 % Wirkung. Somit besteht die Möglichkeit, *P. convolvulus* auch ohne Sulfonylharnstoffe gut zu bekämpfen.

Bei den mit *P. convolvulus* vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten und bei *E. crus-galli* sind einige Wirkungsschwächen mit Bekämpfungserfolgen unter 90 % nach der Anwendung der Sulfonylharnstoff-freien Herbizide festzustellen (Tab. 5). Die höchsten Wirkungsgrade über 95 % wurden bei allen dargestellten dikotylen Unkräutern mit der Tankmischung Clio Star + Spectrum Gold erreicht. Im Mittel aller Sulfonylharnstoff-freien Behandlungen konnten *C. album* mit einem Wirkungsgrad von 98 % und *P. aviculare* mit 97 % sehr gut bekämpft werden.

Tab. 5 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber den am häufigsten mit *P. convolvulus* vergesellschafteten dikotylen Unkräutern und gegenüber *E. crus-galli*.

Tab. 5 Efficacy (%) of non-sulfonylurea herbicide treatments against broad-leaved weeds occurrence with *P. convolvulus* and against *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL	n	ECHCG	n	POLAV	n	BRNN	n	MATSS	n	STEME	n
Calaris	1,5	100	27	88	24	100	4	91	2	97	5	100	4
Gardo Gold + Callisto	3,0 + 0,75	100	14	96	20	99	4	99	2	85	5	100	4
Clio Star + Spectrum Gold	1,0 + 2,5	99	19	96	16	95	8	100	2	97	8	100	1
Calaris + Dual Gold	1,5 + 1,25	100	20	94	26	93	8	84	8	84	8	92	5
Successor T + Mikado	3,0 + 0,75	99	39	88	32	94	14	89	7	93	6	100	9
Laudis + Successor T	2,0 + 3	91	16	99	26	99	8	99	4	97	8	78	2

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; ECHCG = *Echinochloa crus galli*; POLAV = *Polygonum aviculare*; BRNN = *Brassica napus*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

P. convolvulus kann ebenfalls gut mit den Terbutylazin-freien Behandlungen kontrolliert werden (Abb. 8). Diese enthalten zumindest als eine Herbizidkomponente Wirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe.

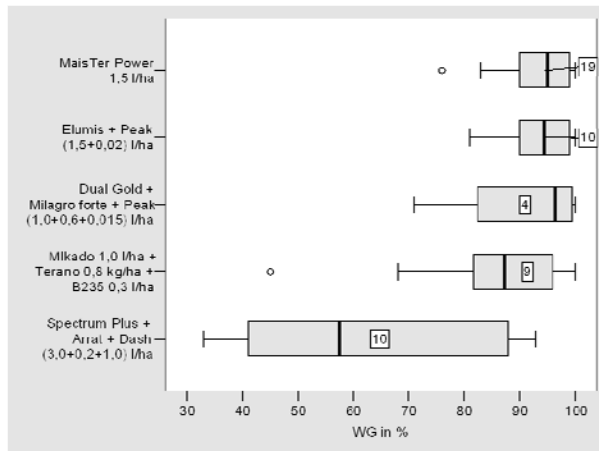


Abb. 8 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin-freien Herbiziden gegenüber *P. convolvulus*.

Fig. 8 Efficacy (%) of non-terbutylazine herbicide treatments against *P. convolvulus*.

Die dikotyle Begleitflora einschließlich *E. crus-galli* konnte nur mit MaisTer Power und mit der Tankmischung Mikado + Terano + B235 mit hohen Wirkungsgraden kontrolliert werden (Tab. 6). Bei der Tankmischung Spectrum Plus + Arrat + Dash wurden die meisten Wirkungsschwächen bonitiert.

Tab. 6 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin-freien Herbizidvarianten gegenüber den am häufigsten mit *P. convolvulus* vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten und *E. crus-galli*.

Tab. 6 Efficacy (%) of non-terbutylazine herbicide treatments against broad-leaved weed occurrence with *P. convolvulus* and against *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL	n	ECHCG	n	POLAV	n	BRSN	n	MATSS	n	STEME	n
MaisTer Power	1,5	98	13	96	7	99	7	100	8	98,4	10	100	1
Elumis + Peak	1,5 + 0,02	100	6	89	3	94	3	99	8	100	6	-	-
Dual Gold + Milagro forte + Peak	1,0 + 0,6 + 0,015	99	4	85	6	91	1	100	2	99	1	98	1
Mikado + Terano + B235	1,0 + 0,8 + 0,3	97	15	94	9	90	8	97	4	100	5	98	2
Spectrum Plus + Arrat + Dash	3,0 + 0,2 + 1	94	6	59	3	55	3	98	6	85	6	98	1

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; ECHCG = *Echinochloa crus galli*; POLAV = *Polygonum aviculare*; BRSN = *Brassica napus*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

Diskussion

Durch den verstärkten Maisanbau bis hin zur mehrjährigen Monokultur werden die typischen Maisunkräuter, wie *Polygonum* spp., *C. album*, *Matricaria* spp., *A. retroflexus*, *E. crus-galli*, *Solanum nigrum* (Schwarzer Nachtschatten) oder *Galinsoga* spp. (Franzosenkraut-Arten) gefördert (BULCKE *et al.*, 1994; MEHRTENS, 2005; SCHRÖDER *et al.*, 2007; DE MOL *et al.*, 2012). Somit sind Maisflächen nicht selten von einer Unkrautart dominiert z. B. von *E. crus-galli*, *P. convolvulus* oder *A. retroflexus*. Aus den Populationen mit diesen hohen Unkrautdichten können bei einseitigem Stoffeinsatz in wenigen Jahren resistente Biotypen heraus selektiert werden (SCHRÖDER, 2013). Infolge des mehrjährigen Herbizideinsatzes im Mais wurden in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts erste Triazin-resistente Unkrautarten nachgewiesen. KEES (1988) berichtet, dass nach 6-8 jährigem Daueranbau von Mais und kontinuierlicher Anwendung von Triazinen mit bestandsbildender Ausbreitung der Resistenz zu rechnen ist. Insbesondere bei den weitverbreiteten Maisunkräutern, wie *C. album*, *P. convolvulus*, *A. retroflexus* und *S. nigrum* wurden Triazin-resistente Biotypen örtlich registriert. Von den Wirkstoffen aus der Gruppe Triazine ist heute im Maisanbau in Deutschland nur noch Terbutylazin (HRAC-Einstufung C1) zugelassen. Insbesondere durch die synergistischen Effekte (SCHULTE *et al.*, 2002) speziell von Terbutylazin und Mesotrione, ergänzt durch den residual wirkenden Wirkstoff S-Metolachlor, bestimmte diese Wirkstoffkombination über viele Jahre die Unkrautbekämpfung auf Flächen mit *E. crus-galli* und weiteren dikotylen Leitunkräutern. Aufgrund des Versickerungsverhaltens des Wirkstoffes Terbutylazin und des produktionsbedingten geringen Wirkstoffanteils von Simazin im Terbutylazin wird in bestimmten wassersensiblen Gebieten dieser Wirkstoff zunehmend substituiert.

Mit der Zunahme des Sulfonylharnstoff-Einsatzes wurden in den letzten Jahren auch in Deutschland erste resistente dikotyle Unkrautarten gegenüber ALS-Hemmern nachgewiesen. Das Auftreten von ALS-resistenten dikotylen Unkräutern *M. recutita* (DROBNY *et al.*, 2008; ULBER *et al.*, 2012), *S. media* im Jahr 2011, *A. retroflexus*, *P. rhoeas* und *E. crus-galli* im Jahr 2012 (HEAP, 2013) muss zukünftig stärker bei der Nutzung von Anti-Resistenzstrategien berücksichtigt werden. Ein neuer Wirkmechanismus (HRAC-Gruppe F2) mit dem Wirkstoff Sulcotrione (Handelsname Mikado) wurde 1996 in Deutschland im Maisanbau eingeführt (DREXLER *et al.*, 1998). In Tankmischungen mit Sulfonylharnstoffen und ggf. mit Bromoxynil wurden hohe Wirkungsgrade gegen die typischen Maisunkräuter erreicht. Weitere Wirkstoffe aus der HRAC-Gruppe F2, wie Mesotrione, Tembotrione und Topramezone, sind wichtige Bausteine zur besseren Bekämpfung der Hirsearten. Aber auch bei diesen Wirkstoffen wurden weltweit die ersten resistenten Biotypen nachgewiesen. MICHEL *et al.* (2012) berichten von einer Amaranth-Art *Amaranthus tuberculatus* aus dem Bundesstaat Illinois USA, die sowohl gegen die 4-HPPD-Hemmer als auch gegen Triazine und Sulfonylharnstoffe resistent ist. Seit der weltweiten Einführung von Sulcotrione im Jahr 1991 aus der Gruppe der HPPD-Hemmer wurde kein neuer Wirkungsmechanismus mehr entdeckt und gegenwärtig ist auch keiner in Sicht (DROBNY *et al.*, 2012). Dadurch ist es notwendig, die Wirksamkeit der einzelnen Wirkstoffe bzw. Wirkstoffgruppen durch eine gezielte Umsetzung von Anti-Resistenzstrategien möglichst lange zu erhalten. Der Wirkstoff Dimethenamid-P aus der HRAC-Gruppe K3 in Kombination mit Terbutylazin als Sulfonylharnstoff-freie Formulierung in Tankmischung mit Topramezone hat sich zur Kontrolle von *E. crus-galli* und zahlreicher dikotyler Unkräuter bewährt (Abb. 3, Tab. 2).

Die geprüften Versuchsvarianten mit hoher Herbizidleistung gegen *E. crus-galli* bzw. *P. convolvulus* können als Baustein für ein Herbizidresistenz-Management genutzt werden. Für die Auswahl der jeweiligen Herbizidmaßnahme können die Wirkungsgrade gegen die mit *E. crus-galli* bzw. *P. convolvulus* vergesellschafteten Unkrautarten genutzt werden.

Die Tabelle 7 zeigt ein Beispiel, wie die Unkrautbekämpfung bei einer Mais-Monokultur auf *E. crus-galli*-Standorten mit oder ohne Terbutylazin-Einsatz gestaltet werden könnte.

Tab. 7 Beispiel für eine Unkrautbekämpfung in einer Mais-Monokultur auf einem Hühnerhirse-Standort mit alternierendem Sulfonylharnstoff-Einsatz.

Tab. 7 Example of weed control, substituting the input of sulfonylurea in maize-monoculture on sites with *E. crus-galli*.

	mit Terbutylazin	ohne Terbutylazin
1. Jahr	Clio Super + Spectrum Gold Dimethenamid (K3), Topramezone (F2), Terbutylazin (C1)	MaisTer Power Foramsulfuron (B), Iodosulfuron (B), Thiencarbazone-methyl (B)
2. Jahr	MaisTer Power Foramsulfuron (B), Iodosulfuron (B), Thiencarbazone-methyl (B)	Clio Super + Dual Gold Dimethenamid (K3), Topramezone (F2), S- Metolachlor (K3)
3. Jahr	Laudis + Successor T Tembotrione (F2), Terbutylazin (C1), Pethoxamid (K3)	Milagro Forte + Peak + Dual Gold Nicosulfuron (B), Prosulfuron (B), S- Metolachlor (K3)
4. Jahr	Arigo + FHS + Spectrum Pks Mesotrione (F2), Nicosulfuron (B), Rimsulfuron (B), Dimethenamid-P (K3), Pendimethalin (K1)	Laudis + Spectrum Pks Tembotrione (F2), Dimethenamid-P (K3), Pendimethalin (K1)

Auf den Standorten mit Dauermaisbau kann die Unkrautflora mit den Terbutylazin-haltigen Herbiziden oder Tankmischungen gut kontrolliert werden. Erfolgt der wiederholte Maisbau auf Flächen, auf denen der Terbutylazin-Einsatz nicht vorgesehen ist, müssen bei einzelnen Unkrautarten geringere Herbizidleistungen berücksichtigt werden. Das trifft auch auf *E. crus-galli* für die Tankmischung Milagro Forte + Peak + Dual Gold mit dem Wirkungsgrad von nur 85 % zu (Tab. 6). Unabhängig von der Einsatzmöglichkeit von Terbutylazin muss darauf geachtet werden, dass Sulfonylharnstoffe maximal jedes zweite Anbaujahr zum Einsatz kommen.

Dagegen kann bei der in Tabelle 8 dargestellten Fruchtfolge der Anteil von Sulfonylharnstoffen deutlich minimiert werden. Wenn auf einzelnen Standorten bereits Sulfonylharnstoff-resistente Unkrautbiotypen nachgewiesen wurden, kann z. B. mit der angegebenen Fruchtfolge in den ersten 4 Jahren auf den Einsatz der Sulfonylharnstoffe generell verzichtet werden. Die weitere Prüfung von Herbizidvarianten sollte noch besser auf die spezifischen Anforderungen einer gezielten Anti-Resistenzstrategie und auf die zumindest in wassersensiblen Gebieten erforderliche Substitution von Triazin-haltigen Herbizidwirkstoffen ausgerichtet werden. Des Weiteren breiten sich zunehmend wärmeliebende Unkrautarten, wie z. B. *Setaria glauca* (Graugrüne Borstenhirse) und *Setaria viridis* (Grüne Borstenhirse) auf Maisstandorten aus (MEHRTENS, 2005; MEINLSCHMIDT und EWERT, 2013). Da die *Setaria*-Arten gegenwärtig nur sicher mit Wirkstoffen aus der HRAC-Gruppe F2 gut bekämpft werden können, sind die Anti-Resistenzstrategien auch auf die Wirkstoffgruppe der Triketone anzupassen.

Tab. 8 Umsetzung der Anti-Resistenzstrategie auf einem Hühnerhirse-Standort mit Mais in der Fruchtfolge.

Tab. 8 Implementation of the management of herbicide resistance in crop rotation with maize on sites with *E. crus-galli*.

1. Jahr	Mais	Laudis + Gardo Gold Tembotrione (F2), Terbutylazin (C1), S- Metolachlor (K3)
2. Jahr	Winterroggen	Herold + Sumimax Diflufenican (F1), Flufenacet (K3)
3. Jahr	Winterraps	SF Butisan Gold; Effigo + Fox Metazachlor (K3), Quinmerac (O), Dimethenamid-P, Clopyralid (O), Picloram (O), Bifenox (E)
4. Jahr	Winterweizen	Bacara Forte Diflufenican (F1), Flurtamone (F1), Flufenacet (K3)
5. Jahr	Mais	MaisTer Power Foramsulfuron (B), Iodosulfuron (B), Thiencarbazone-methyl (B)

Literatur

- BRAUN-BLANQUET J., 1964: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer, Wien, New York, 865.
- BULCKE, R., P. DE BRUYNE, M. VAN HIMME und D. CALLENS, 1994: Evolution of weed flora and crop yield by repeated herbicide applications in maize monoculture. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XIV**, 437-445.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ, M. SCHULTE und B. GEROWITT, 2012: Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management – Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002-2004. Julius-Kühn-Archiv **434**, 655-662.
- DREXLER, G., F. STUKE und B. WAGEMANS, 1998: Ungewöhnliche Problemunkräuter im Maisanbau mit Mikado kontrollieren. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVI**, 565-571.
- DROBNY, H.G., M. SCHULTE und H.J. STREK, 2012: 25 Jahre Sulfonylharnstoff-Herbizide – ein paar Gramm verändern die Welt der chemischen Unkrautbekämpfung. Julius-Kühn-Archiv **434**, 21-33.
- DROBNY, H.G., J. PEREZ, M. FEIERLER, F.G. FELSENSTEIN, J.R. GERTZ, C. SCHLEICH-SAIDFAR und N. BALGHEIM, 2008: Auftreten und Charakterisierung von einzelnen Kamille-Populationen (*Matricaria recutita* L.) mit Resistenz gegen ALS-Hemmer in Schleswig Holstein, Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue **XXI**, 11-19.
- HEAP, I.M., 2013: International Survey of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org. Last Accessed Oktober 25, 2013.
- KEES, H., 1988: Die Entwicklung triazinresistenter Samenunkräuter in Bayern und Erfahrungen mit deren Bekämpfung. Gesunde Pflanzen **20**, 407-412.
- KÜCHLER, T., H. RESELER, B. DÜFER und M. LEFÈVRE, 2002: Monitoring von Terbutylazin in Oberflächengewässern an abschwemmungsgefährdeten Maisfeldern zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abstandsaufgaben – Zusammenfassung und Ausblick. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt **390**, 136.
- MARSHALL, R., R. HULL und S.R. MOOS, 2010: Target site resistance to ALS inhibiting herbicides in *Papaver rhoeas* and *Stellaria media* biotypes from the UK. Weed Research **50**, 621-630.
- MEHRTENS, J, 2005: Räumliche und zeitliche Verteilung von Unkräutern in Mais. Dissertation Universität Hohenheim. Verlag Grauer, Beuren, Stuttgart, 211.
- MEINLSCHMIDT, E. und K. EWERT, 2013: Unkrautbekämpfung im Mais. Die beste Lösung für ihren Standort. Dlz Agrarmagazin **4**, 40-48.
- MICHEL, A., C.L. FORESMAN, N.D. POLGE, S.S. KAUNDUN und G.L. GOUPIL, 2012: *Amaranthus* develops resistance to HPPD inhibitors in seed corn production fields – another example of lack of diversity in the weed control program. Julius-Kühn-Archiv **434**, 103-109.
- PICKERT, J., 2000: Einfluss des Unkrautbekämpfungstermins auf Ertrag und Wirtschaftlichkeit des Silomaisanbaues. Zeitschrift Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVII**, 253-258.
- SCARABEL, L., S. VAROTTO und M. SATTIN, 2007: A European biotype of *Amaranthus retroflexus* cross-resistant to ALS inhibitors and response to alternative herbicides. Weed Research **47**, 527-533.
- SCHRÖDER, G., 2013: Neue Herbizidresistenzen bei Maisunkräutern in Brandenburg und Schlussfolgerungen für notwendige Anti-Resistenzstrategien.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, H. BÄR, E. BERGMANN und I. PITTORF, 2007: Der gezielte Einsatz von reduzierten Aufwandmengen herbizider Tankmischungen in Mais – ein Beitrag zur Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der landwirtschaftlichen Praxis. Gesunde Pflanzen **59**, 127-139.
- SCHULTE, M., W. T. RÜEGG und P.B. SUTTON, 2002: Synergie von Mesotrione, S-Metolachlor und Terbutylazin in der Bekämpfungsstrategie von Maisunkräutern. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVIII**, 785-793.
- SCHULTE, M., M. STEINHEUER, B. DÜFER und T. RÄDER, 2012: Was macht(e) Terbutylazin zum Basiswirkstoff der chemischen Unkrautbekämpfung im mitteleuropäischen Maisanbau? Eine Nutzenbetrachtung. Julius-Kühn-Archiv **434**, 321-328.
- STATISTISCHES BUNDESAMT 2013. <https://www.destatis.de/DE/Startseite.html>.
- ULBER, L., E. SVOBODA, B. JASER, F.G. FELSENSTEIN und P. ZWERGER, 2012: Deutschlandweites Monitoring zur ALS-Resistenz bei Kamille-Arten. Julius-Kühn-Archiv **438**, 318-319.

Chemische Unkrautkontrolle bei der Anpflanzung von Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln (*Populus*) und Weiden (*Salix*)

*Chemical weed control by planting of poplar (*Populus*) and willow (*Salix*) short rotation coppice*

Klaus Gehring*, Thomas Festner und Stefan Thyssen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising

* Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.081

Zusammenfassung

In einer Versuchsserie von 2010 – 2012 mit insgesamt fünf Feldversuchen an drei Standorten konnte die Notwendigkeit einer effizienten Unkrautkontrolle bei der Anlage von Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf Ackerstandorten nachgewiesen werden. Auf der Basis von Selektivitätsprüfungen wurden Herbizide mit einer sicheren Kulturverträglichkeit für die Anwendung im Vor- und Nachaufbauverfahren bestimmt. In weiteren Versuchen wurden Präparatekombinationen als Tankmischungen und Spritzfolgebehandlungen für eine möglichst effiziente und nachhaltige Unkrautkontrolle entwickelt. Aufgrund dieser Ergebnisse wird empfohlen bei der Anlage von Pappel- und Weiden-KUP eine Voraufbaubehandlung als Tankmischung mit einer an das standortspezifische Unkrautpektrum angepassten Präparatekombination mit Artist, Cadou SC, Sencor WG, Spectrum, Spectrum Plus oder Stomp Aqua für eine breit wirksame Unkrautkontrolle vorzunehmen. Folgeverunkrautungen können bei Bedarf im Nachaufbauverfahren mit den Herbiziden Aramo oder Lontrel 100 reguliert werden. Es wird angestrebt, für die erfolgreich geprüften Herbizide eine Ausweitung des Anwendungsgebietes für den Einsatz in Pappel und Weiden-KUP nach Art.51 der EU-Zulassungsverordnung (EG) Nr. 1107/2009 zu erlangen.

Stichwörter: Bioenergie, Ertrag, Feldversuche, Herbizide, Kulturverträglichkeit, Lückenindikationsverfahren, nachwachsende Rohstoffe

Abstract

Five field trials were carried out from 2010 – 2012 on three different locations. The trials conformed high requirement of effective weed control by planting poplar and willow short rotation coppice (SRC) on arable area. The selectivity of different pre-emergent and post-emergent herbicide treatments was tested. Further trials focused on sufficient and long-standing herbicide efficacy of tank mixture and sequence treatments. As results of these trials it is advisable to use proper soil active herbicides like Artist, Cadou SC, Sencor WG, Spectrum, Spectrum Plus or Stomp Aqua as pre-emergent tank mixture treatment after planting of poplar and willow SRC. Aramo and Lontrel 100 can be used as post-emergent treatment for control of specific weeds. We intend to register the successful tested herbicides for minor use in poplar and willow SRC under licensing referred to Art. 51 regulation (EC) no 1107/2009.

Keywords: Field trials, herbicide, yield, minor use program, renewable energy crop, selectivity

Einleitung

Die Endlichkeit fossiler Energieträger ist mit steigenden Energiekosten und einer zunehmenden Nachfrage regenerativer Energiequellen verbunden. Der Bereich alternativer Energien ist breit aufgefächert. In dem für die Landwirtschaft wichtigen Bereich der sogenannten „Bioenergie“ ist es wünschenswert, neben dem großen Segment der Biogasproduktion, weitere nachwachsende Rohstoffe für die stoffliche oder energetische Verwertung zu nutzen. Biomasse aus schnellwachsenden Kurzumtriebsplantagen (KUP), in der Regel Pappeln (*Populus*) oder Weiden (*Salix*), kann als „Feldhackschnittel“ zur umweltfreundlichen Energieversorgung verwendet werden. Die relativ geringen Standortansprüche dieser Ackerholzkulturen ermöglichen den Anbau auf ansonsten ertragsschwachen Standorten und entschärfen somit den Konflikt zwischen „Tank und Teller“. Die mehrjährigen Anlagen leisten zudem einen Beitrag zur Verbesserung der Agrobiodiversität und zur Reduktion von Treibhausgasemissionen (Rowe, 2009). Obwohl eine hohe Abhängigkeit von einer effizienten Unkrautkontrolle bei der Etablierung der KUP bekannt ist, sind die verfügbaren Informationen für einen sachgerechten Herbizideinsatz weitgehend

rudimentär. Während einzelne Quellen nur auf den Bedarf für den Einsatz von blatt- und bodenwirksamen Herbiziden verweisen (BURGER und WAUER, 2011; UNSELD *et al.*, 2012), sind andere Informationen hinsichtlich der Verfügbarkeit der Präparate bereits veraltet (HOFMANN, 2008) oder beziehen sich auf Herbizide, die in Deutschland nicht verfügbar sind oder aufgrund von Anwendungsverböten nicht eingesetzt werden können (WILLOUGHBY und CLAY, 1999; TUBBY und ARMSTRONG, 2002).

Mit der nachfolgend beschriebenen Arbeit wurde die Entwicklung von ausreichend effizienten und kulturverträglichen Anwendungsverfahren für die chemische Unkrautkontrolle bei der Etablierung von KUP mit Pappeln und Weiden angestrebt. Hierdurch sollen der Fachberatung und der landwirtschaftlichen Produktionspraxis konkrete Empfehlungen für eine sachgerechte Herbizidbehandlung hinsichtlich der Präparateauswahl und der Präparatekombination sowie die notwendige Aufwandmengengestaltung zur Verfügung gestellt werden.

Material und Methoden

Zur Überprüfung der Herbizideinsatzfähigkeit in Pappel- und Weiden-KUP wurden im Zeitraum von 2010 bis 2012 fünf Feldversuche an den Standorten Freising (11.728° ö.L. / 48.404° n.B.; WGS84), Haindlfing (Landkreis Freising; 11.726° ö. L. / 48.434 n. B., WGS84) und Puch (Landkreis Fürstenfeldbruck; 11.205° ö. L. / 48.194°n.B.; WGS84) durchgeführt. Die Standorte liegen im Bodenklima-Raum 115, respektive im Tertiär-Hügelland Donau-Süd (ROSSBERG *et al.*, 2007). Die Region zeichnet sich durch ein subozeanisches bis subkontinentales Klima mit einer Jahresmitteltemperatur von 8,3 °C und einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 844 l*m⁻¹ aus. Die mittlere Vegetationsdauer mit Tagesmitteltemperaturen von > 10 °C beträgt 164 Tage. Die Böden an den Versuchsstandorten sind als Parabraunerden bzw. Braunerden aus Lößlehm mit Bodenwertzahlen im Bereich 50 – 66 zu beschreiben. Die Feldversuche wurden als randomisierte Exaktversuche in vierfacher Wiederholung mit Parzellengrößen von 10 m² angelegt. Pro Parzelle wurden 24 Weiden- bzw. Pappel-Stecklinge in einem Verbund von 0,75 x 0,5 m angepflanzt. Hierbei handelte es sich um je 12 Pflanzen von zwei verschiedenen Sorten. Die Anpflanzung der Stecklinge erfolgte jeweils nach Vegetationsbeginn, d.h. im Zeitraum von Ende März bis Anfang April. Als Pflanzmaterial wurden die in Bayern häufig verwendeten Sorten „HYBRID 275“ und „MAX4“ (Pappeln) bzw. „INGER“ und „TORDIS“ (Weiden) in handelsüblicher Qualität eingesetzt. Bei den Ackerflächen traten die betriebsüblichen Vorfrüchte Winterweizen, Triticale, Mais bzw. Kartoffeln auf. Die Bodenbearbeitung erfolgte regelmäßig mit einer Pflugfurche im Herbst und einer Grubberbehandlung im Frühjahr. Hierauf wurden die Pflanzflächen mit einer Kreiseleggenbearbeitung für das manuelle Ausstecken vorbereitet.

Die Herbizidbehandlungen wurden mit einer handgeführten, selbstfahrenden Pressluftparzellenspritze (Fabrikat Schachtner) mit einer Fahrgeschwindigkeit von 3,9 km*h⁻¹, einem Arbeitsdruck von 2,0 bar und einer Wasseraufwandmenge von 300 l*ha⁻¹ mit AIRMIX® 11003 Luftinjektordüsen ausgebracht. Im Versuchsjahr 2010 wurden in zwei Versuchen an den Standorten Haindlfing und Puch einzelne Herbizide hinsichtlich ihrer Selektivität geprüft. Hierbei wurden verschiedene Breitbandherbizide kurz nach dem Stecken, d.h. am Folgetag, und das Graminizid ARAMO (Tepraloxymid) sowie das Spezialpräparat LONTREL 100 (Clopyralid) nach dem Austrieb in einfacher und doppelter Dosierung gemäß der höchsten zugelassenen Aufwandmenge in anderen Kulturen eingesetzt. In 2012 wurden am Standort Freising nochmals Selektivitätsprüfungen mit den Präparaten ARTIST und CADOU SC als Alternativen für das mittelfristig nicht mehr verfügbare Präparat TERANO vorgenommen (Tab. 1).

Tab. 1 Auf die Selektivität in Pappeln und Weiden geprüfte Herbizide (Haindlfing 2010, Puch 2010, Freising 2012).**Tab. 1** *Herbicides tested for selectivity in poplar and willow.*

Präparat	Wirkstoff, -konzentration (g*I ⁻¹ bzw. kg ⁻¹), Formulierung	AWM (l bzw. kg*ha ⁻¹)		Termin
		x1	x2	
ARTIST	Flufenacet + Metribuzin, 250 + 175, WG	2,50	5,00	VA
CADOU SC	Flufenacet, 500, SC	0,48	0,96	VA
KATANA	Flazasulfuron, 250, WG	0,20	0,40	VA
MAISTER FLÜSSIG	Foramsulfuron + Iodosulfuron, 30 + 0,93, OD	1,50	3,00	VA
NOZOMI	Flumioxazin, 500, WG	1,20	2,40	VA
SENCOR WG	Metribuzin, 700, WG	0,75	1,50	VA
SPECTRUM	Dimethenamid-P, 720, EC	1,40	2,80	VA
STOMP AQUA	Pendimethalin, 455, CS	4,40	8,80	VA
TERANO	Flufenacet + Metosulam, 600 + 25, WG	1,00	2,00	VA
(SPECTRUM PLUS)	Pendimethalin + Dimethenamid-P, 250 + 212,5, EC	4,00	8,00	VA
ARAMO	Tepraloxydim, 50, EC	2,00	4,00	NA
LONTREL 100	Clopyralid, 100, SL	1,20	2,40	NA

Legende: WG = Wasserdispersierbares Granulat, SC = Suspensionskonzentrat, OD = Ölige Dispersion, EC = Emulsionskonzentrat,

SL = Wasserlösliches Konzentrat, CS = Kapselsuspension, AWM = Aufwandmenge, x1 = Standarddosierung, x2 = Doppeldosis,

VA = nach dem Stecken, NA = nach dem Austrieb, (...) = Präparat noch nicht zugelassen

In den Versuchsjahren 2011 wurden an den Standorten Haindlfing und Puch und im Jahr 2012 am Standort Freising vorwiegend Herbizide in Tankmischungen und Spritzfolgebehandlungen eingesetzt, wobei neben einer ausreichenden Selektivität auch eine praxistaugliche Breitenwirkung angestrebt wurde (Tab. 2). Auch diese Anwendungen wurden im Vergleich mit einer doppelten Dosierung geprüft.

Die Wirksamkeit und die Kulturverträglichkeit der Herbizidbehandlungen wurde in Anlehnung an den die EPPO-Richtlinien PP 1/152(4) und PP 1/135(3) überprüft und bewertet, da für die Prüfung des Herbizideinsatzes in KUP keine expliziten EPPO-Richtlinien vorliegen. In Ergänzung zu den wiederholt durchgeführten Boniturerhebungen wurde nach der Vegetationsperiode eine Beerntung der Versuchsanlagen mit Feststellung des variantenspezifischen Trockenmasseertrages der einjährigen Pflanzen vorgenommen. Die Versuche wurden mit der Windows-Software PIAF (ZINK UND SCHLÜTER, 1999) geplant, dokumentiert und ausgewertet. Die statistische Analyse der Ertragshebungen wurde mit Hilfe der in PIAF integrierten parametrischen SAS-Routinen vorgenommen. Die Daten der visuellen Bonituren wurden auf der Ebene der variantenspezifischen Mittelwerte verglichen. Eine varianzanalytische Bewertung der Boniturergebnisse wurde nicht vorgenommen.

Tab. 2 Für den Einsatz in Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen geprüfte Herbizid-Tankmischungen und Spritzfolgen (Haindlfing 2011, Puch 2011; Freising 2012).

Tab. 2 *Herbicides tested for use in poplar and willow short rotation coppice as tank mixtures and sequence treatments.*

Var. Nr.	Tankmischung/Spritzfolge	Aufwandmenge (l bzw. kg*ha ⁻¹)	Termin
1	SPECTRUM PLUS + CADOU SC	4,0 + 0,48	VA
2	SPECTRUM PLUS + SENCOR WG	4,0 + 0,5	VA
3	STOMP AQUA + ARTIST	2,5 + 2,5	VA
4	STOMP AQUA + CADOU SC	4,0 + 0,48	VA
5	STOMP AQUA + NOZOMI	3,0 + 1,0	VA
6	STOMP AQUA + SPECTRUM	3,0 + 1,0	VA
7	STOMP AQUA + SENCOR WG	3,0 + 0,5	VA
8	STOMP AQUA + SPECTRUM / LONTREL 100	3,0 + 1,0 / 1,2	VA / NA
9	STOMP AQUA + SPECTRUM / ARAMO	3,0 + 1,0 / 2,0	VA / NA

Legende: VA = nach dem Stecken, NA = nach dem Austreiben

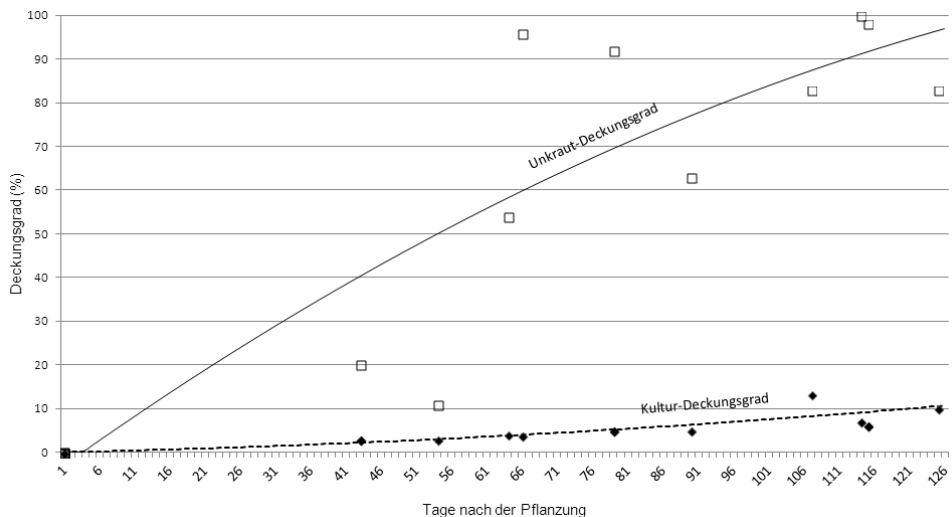


Abb. 1 Entwicklung des Deckungsgrades (%) von Pappeln und Weiden und der standortspezifischen Unkrautflora nach der Pflanzung; Boniturwerte (Haindlfing 2010, Puch 2010 mit je 2 Kulturen) und mittlerer polynomischer Trend.

Fig. 1 *Development of poplar, willow and site specific weeds (% coverage) after planting; single values (2 trials with 2 crops) and mean polynomial trend.*

Ergebnisse

Für die Pappel- und Weiden-KUP ist für die Etablierung in der ersten Vegetationsperiode eine äußerst geringe Konkurrenzleistung gegenüber einer standortspezifischen Ackerunkrautflora bekannt (LEDIN und WILLEBRAND, 1996; WILLOUGHBY *et al.*, 2009). Die Notwendigkeit einer ausreichenden Unkrautkontrolle bestätigten die Ergebnisse hinsichtlich der Deckungsgradentwicklung und der Ertragsleistung. Die Feldversuche in 2010 zeigten eine sehr zögerliche Entwicklung des Deckungsgrades bei Pappeln und Weiden. 125 Tage nach der

Pflanzung konnten die Kulturen einen mittleren Deckungsgrad von nur ca. 10 % erreichen. Die standortspezifische Unkrautflora entwickelte in diesem Zeitraum einen nahezu flächendeckenden Bestand (Abb. 1).

Der hohe Konkurrenzdruck einer Ackerunkrautflora, vor allem im Bezug auf den Wachstumsfaktor Wasser, resultierte in einer starken Abhängigkeit der Trockenmasseertragsleistung in den einjährigen KUP von der Unkrautbekämpfungsleistung der verschiedenen, selektiven Herbizidbehandlungen (Abb. 2).

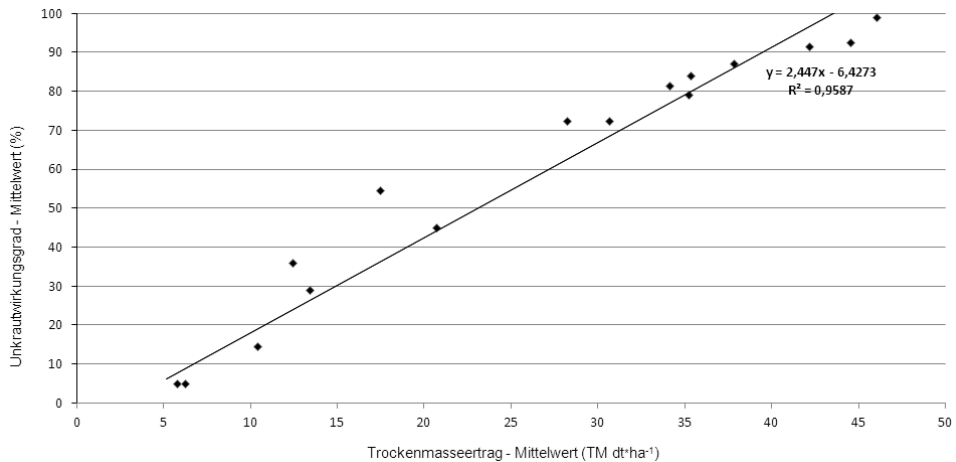


Abb. 2 Trockenmasseertrag von einjährigen Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen in Abhängigkeit von der Unkrautbekämpfungsleistung unterschiedlicher Behandlungsvarianten (Haindlfing und Puch, 2010, 8 Behandlungsvarianten, Mittelwerte und linearer Trend).

Fig. 2 First year dry matter yield of poplar and willow short rotation coppice according to the weed control efficacy of different treatments; 2 trials, 8 treatments, mean values and linear trend.

Ergebnisse der Selektivitätsprüfung

Die Auswahl der zu prüfenden Herbizide (Tab.1) orientierte sich an den verfügbaren Informationen (WILLOUGHBY und CLAY, 1999; DAWSON, 2007) und der bereits vorhandenen Registrierung einzelner Präparate in den Kulturgruppen Ziergehölze bzw. Baumschulgehölze. Die Kulturverträglichkeit der Herbizidbehandlungen in den Feldversuchen 2010 war demzufolge weitgehend unproblematisch. Anwendungen mit Stomp Aqua (Pendimethalin) verursachten temporäre Chlorosen in der Größenordnung von 3 bis 20 % in der Pappel-Sorte „HYBRID 275“. Die Sorte „MAX“ und beide Weiden-Sorten zeigten keinerlei Phytotox-Symptome auf den Einsatz von STOMP AQUA. Das Spezialherbizid LONTREL 100® (Clopyralid) löste in der Nachauflaufbehandlung in beiden Kulturen und den jeweiligen Sorten leichte Phytotox-Reaktionen (4 – 10 %) in Form von Blattrollen aus, die im Verlauf der Vegetation kompensiert wurden. Das in Zierkoniferen für die Voraustrieb- oder Unterstockbehandlung bereits registrierte Herbizid KATANA® (Flazasulfuron) verursachte in der Vorauflaufbehandlung in Pappel- und Weiden-KUP unabhängig von der Sorte massive Kulturschäden in Form von Wachstumsrückstand (33 – 95 %), in Weiden deutliche Chlorosen (5 – 38 %) und in beiden Kulturen eine Ausdünnung durch Pflanzenverluste im Bereich von 0 – 43 %. Die Phytotoxreaktionen zeigten eine tendenzielle Abhängigkeit vom Standort, von der Kulturart und der Sorte. Die graduelle Ausprägung wurde zwar auch von der Aufwandmenge beeinflusst, war aber bei der Standardaufwandmenge bereits so intensiv, dass die Anwendung von KATANA® in Pappel- und Weiden-KUP nicht weiter verfolgt wurde. Die übrigen Herbizide verursachten keinerlei Schäden bzw. nur sehr geringfügige, kurzfristige Symptome, z. B. in Form von leichten Chlorosen bei Varianten auf der Basis von Clopyralid oder Pendimethalin.

Die Unkrautbekämpfungsleistung gegenüber der an den Versuchsstandorten vorhandenen Unkrautflora (Leitunkräuter: GALAP, MATSS, VERPE, VIOR, BRNN, POLAV, CAPBP) war im Vergleich der Prüfmittel sehr unterschiedlich. Bei der Anwendung in der Standardaufwandmenge erzielten die Präparate ARTIST (Flufenacet + Metribuzin), SPECTRUM PLUS (Pendimethalin + Dimethenamid-P) und TERANO (Flufenacet + Metosulam) eine ausreichende Breitenwirkung und eine sichere Unkrautbekämpfungsleistung (Abb. 3). Für die weiteren geprüften Solopreparate ist festzuhalten, dass sie primär für den Einsatz in Kombination mit Ergänzungspräparaten geeignet sind, die in der Tankmischung oder in der Spritzfolge eine ausreichende Wirkungsbreite gewährleisten. Das für den Nachauflaufeinsatz konzipierte Präparat MAISTER FLÜSSIG (Foramsulfuron + Iodosulfuron) ist offensichtlich nicht für die Anwendung im Voraufbau geeignet, da sich hierdurch keine ausreichende Aktivität der eingesetzten Wirkstoffe erreichen lässt.

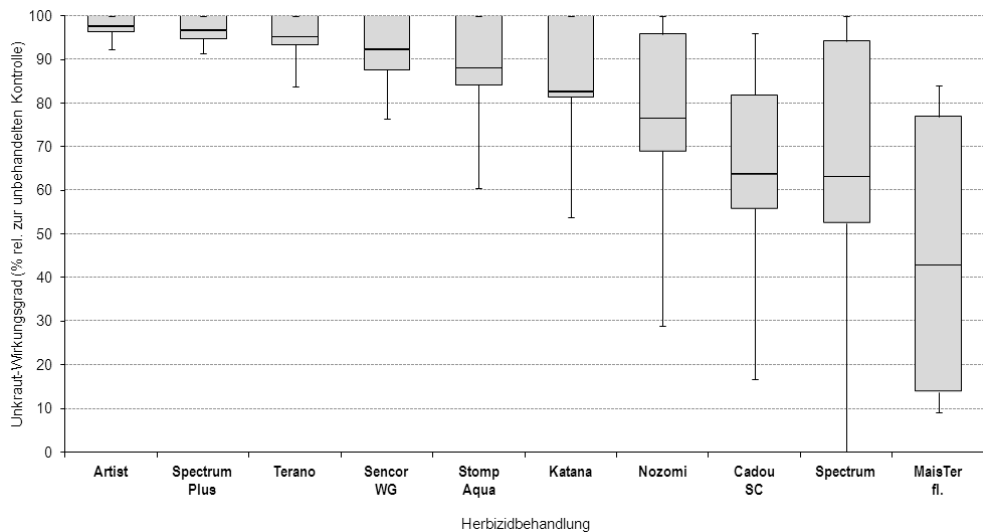


Abb. 3 Unkrautbekämpfungsleistung (% rel. Wirkungsgrad) verschiedener Herbizidbehandlungen in der Anwendung nach dem Stecken in Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen (Haindlfing und Puch 2010, Freising 2012, Leitunkräuter: GALAP, MATSS, VERPE, VIOR, BRNN, POLAV, CAPBP), Mittelwerte Boxplot-Verteilung.

Fig. 3 Weed control (% efficacy) of different pre-emergent herbicide treatments in poplar and willow short rotation coppice; 3 trials, main weeds: GALAP, MATSS, VERPE, VIOR, BRNN, POLAV, CAPBP, mean values boxplot-spreading.

Die festgestellten Trockenmasseerträge der einzelnen Behandlungsvarianten wurden im Fall von KATANA massiv von der unzureichenden Selektivität beeinflusst, sodass die Variante nur das Ertragsniveau der unbehandelten Kontrolle erreichen konnte. Bei weiteren Prüfvarianten wurde die Ertragsleistung von der präparatespezifischen Unkrautbekämpfungsleistung bestimmt. Die bei einzelnen Varianten erkennbare Abhängigkeit des Trockenmasseertrages von der Gehölzart kann nicht durch eine unterschiedliche Selektivität der Herbizidbehandlung erklärt werden; unter Umständen ist die Ursache in einer artspezifisch unterschiedlichen Konkurrenzleistung gegenüber der vorhandenen Restverunkrautung zu suchen. Diese Vermutung müsste allerdings durch weitere Untersuchungen überprüft werden. Der deutliche Abstand in der Ertragsleistung der Behandlungsvariante mit ARTIST gegenüber den weiteren Prüfvarianten wurde durch das standortspezifische Ertragsniveau am Standort Freising gegenüber den Standorten Haindlfing und Puch ausgelöst.

Die absoluten TM-Erträge, sowie die Absicherung zwischen den Prüfvarianten wurde stark vom jeweiligen Standort, von der Kulturart und teilweise auch von der Sorte beeinflusst. Die Aufwandmenge in Form von Einfach- und Doppeldosierung wirkte sich lediglich im Einzelfall bei

Herbiziden mit einer begrenzten Bekämpfungsleistung ertragssteigernd aus, indem die höhere Aufwandmenge in Folge der höheren Unkrautwirkung einen signifikant höheren TM-Ertrag ermöglichte. Während eine varianzanalytische Bewertung der behandlungsspezifischen TM-Erträge nur auf der Ebene des einzelnen Versuchsstandortes gerechtfertigt war, zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse als Gesamtmittelwert eine repräsentative Vorzüglichkeit im Vergleich der Behandlungsvarianten (Abb. 4).

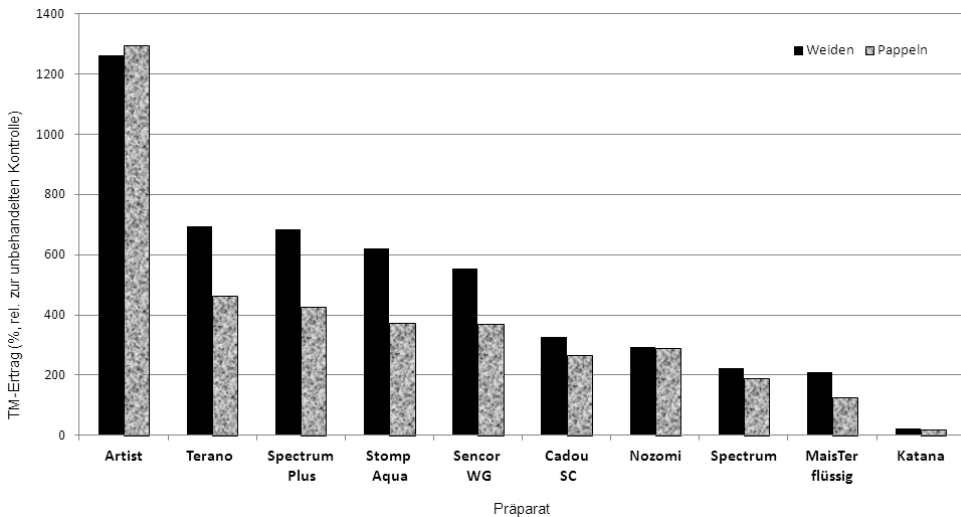


Abb. 4 Trockenmasseertrag (% relativ zur unbehandelten Kontrolle) verschiedener Herbizidbehandlungen nach dem Stecken in einjährigen Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen; 3 Versuche, Mittelwerte.

Fig. 4 First year dry matter yield (% in comparison to untreated) of different pre-emergent herbicide treatments in poplar and willow short rotation coppice; 3 trials, mean values.

Ergebnisse der Prüfung von Herbizidkombinationen

Anhand der Ergebnisse der Einzelpräparate-Prüfung im Jahr 2010 wurden für die Versuchsjahre 2011 und 2012 Prüfvarianten als Tankmischungen und Spritzfolgebehandlungen entwickelt. Hierbei war eine Umstellung der Prüfvarianten von 2011 auf 2012 erforderlich, da sich herausstellte, dass das eigentlich sehr gut geeignete Breitbandherbizid TERANO mittelfristig nicht mehr zur Verfügung steht. In 2012 wurden daher Ersatzvarianten in Kombinationen mit ARTIST und CADOU SC getestet. In beiden Versuchsjahren stand weniger die Kulturverträglichkeit, als vielmehr die Unkrautbekämpfungsleistung und die daraus resultierende Ertragsabsicherung im Focus der Untersuchungen. Phytotox trat nur in geringfügigem Umfang (1 bis 10 %) und temporär in Form von Chlorosen und Blattdeformationen bei einzelnen Prüfvarianten auf der Basis von STOMP AQUA, LONTREL 100 und CADOU SC auf. Die Phytotox-Reaktionen zeigten eine Abhängigkeit von der Kulturart und der jeweiligen Sorte. Pappeln reagierten tendenziell sensibler als Weiden und die Pappel-Sorte „HYBRID 275“ zeigte sich bereits bei den Prüfungen im Jahr 2011 empfindlicher als die Sorte „MAX“.

Die Ergebnisse in der Unkrautbekämpfungsleistung zeigen deutliche Unterschiede im Leistungsniveau zwischen den Prüfvarianten (Abb. 5). Die Mehrzahl der Behandlungen erzielte eine sichere Bekämpfungsleistung (> 95 % Gesamtwirkungsgrad) gegenüber der Standortunkrautflora. Die Prüfvarianten auf der Basis von STOMP AQUA + SPECTRUM bzw. STOMP AQUA + NOZOMI[®] erzielten dagegen nur eine nachrangige Bekämpfungsleistung. Die Ausnahme bildete die Variante 9, bei der die Spritzfolge mit dem Graminizid ARAMO eine absolute Leistungssteigerung gegenüber einer monokotylen Verunkrautung erreichen konnte.

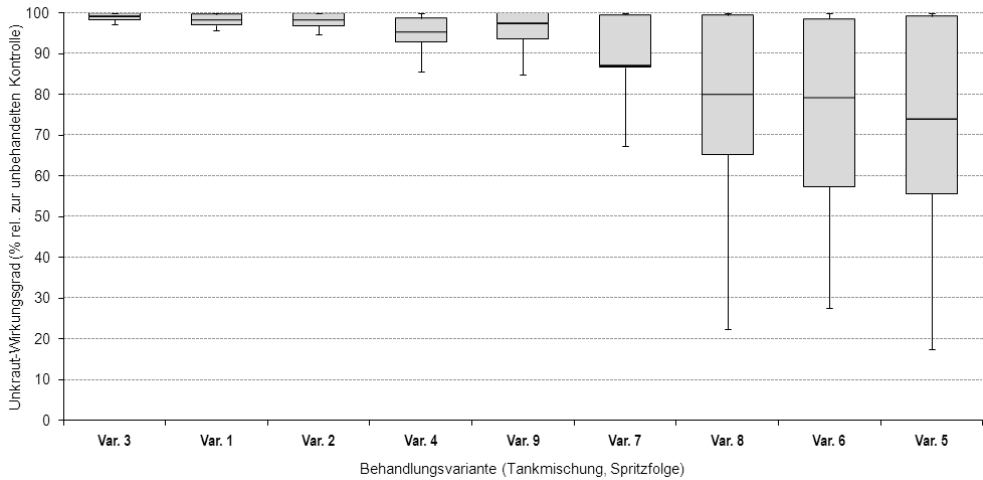


Abb. 5 Unkrautbekämpfungsleistung (% Wirkungsgrad) verschiedener Herbizidbehandlungen als Tankmischungen nach dem Stecken und als Spritzfolgen in Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen; 3 Versuche, Leitunkräuter: ALOMY, AVEFA, BRSNN, CHEAL, ECHEG, FUMOF, GASCI, MATIN, POLLA, THLAR, VERPE, Mittelwerte Boxplot-Verteilung.

Fig. 5 Weed control (% efficacy) of different herbicide treatments as pre-emergent mixtures and sequence treatments in poplar and willow short rotation coppice; 3 trials, main weeds: ALOMY, AVEFA, BRSNN, CHEAL, ECHEG, FUMOF, GASCI, MATIN, POLLA, THLAR, VERPE, mean values boxplot-spreading.

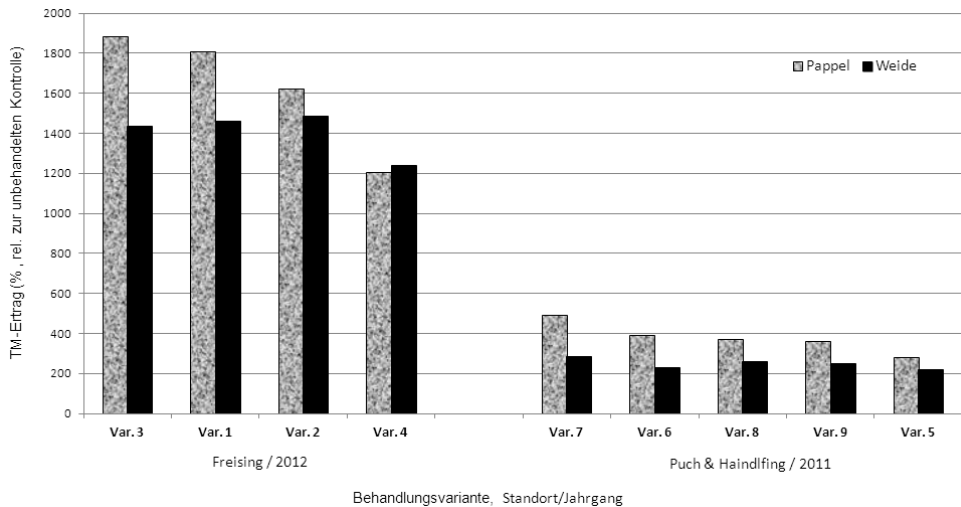


Abb. 6 Trockenmasseertrag (% relativ zur unbehandelten Kontrolle) verschiedener Herbizidbehandlungen als Tankmischungen und Spritzfolgebehandlungen in einjährigen Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen; 3 Versuche, Mittelwerte.

Fig. 6 First year dry matter yield (% compared to untreated control) of different pre-emergent herbicide treatments as tank mixture and willow short rotation coppice; 3 trials, mean values.

Das Ertragsniveau war in 2012 am Standort Freising wesentlich höher als in 2011 an den Standorten Haindling und Puch. Die Ergebnisse der jeweiligen Prüfvarianten müssen daher getrennt bewertet werden (Abb.6). Die statistische Analyse ergab für keinen der Versuchsstandorte einen signifikanten Unterschied für die Herbizidbehandlungen im Bezug auf die jeweilige Kultur oder Sorte. Hinsichtlich der Aufwandmenge trat nur einmalig ein signifikanter Vorteil für die Doppeldosis der Variante 5 (STOMP AQUA + NOZOMI) gegenüber der Einfachdosierung am Standort Puch in der Pappelsorte „MAX“ auf. Im Vergleich der Prüfvarianten in der Standarddosierung traten an keinem der Standorte signifikante Ertragsvorteile für einzelne Behandlungsvarianten auf.

Diskussion

Die erfolgreiche Etablierung von Pappel- und Weiden-KUP ist stark von einer ausreichenden Unkrautkontrolle in der ersten Vegetationsperiode abhängig. Bei der Anlage der KUP auf Ackerflächen ist der Einsatz von Bodenherbiziden mit einer möglichst nachhaltigen Residualwirkung gegenüber der standortspezifischen Ackerunkrautflora notwendig. Die geprüften Breitband-Bodenherbizide bestätigen mit einer Ausnahme (KATANA) eine ausreichende Kulturverträglichkeit. Dies gilt auch für die im Nachauflauf eingesetzten Herbizide ARAMO und LONTREL 100. Für eine ausreichende Unkrautbekämpfungsleistung zeigte sich die Notwendigkeit für die Anwendung von Tankmischungen auf der Basis der Präparate ARTIST, CADOU SC, SENCOR WG, SPECTRUM, SPECTRUM PLUS oder STOMP AQUA. Das ausreichend kulturverträgliche Präparat NOZOMI ist aufgrund der begrenzten Wirkungsbreite kein geeignetes Präparat bzw. keine geeignete Tankmischungskomponente. Bei Bedarf können Voraufaufbehandlungen mit Nachauflaufbehandlungen als Spritzfolgen mit den Präparaten ARAMO oder LONTREL 100 ergänzt werden.

Für die in der dreijährigen Versuchsserie erfolgreich geprüften Herbizide wird eine Genehmigung im Anwendungsgebiet Pappel- und Weiden-KUP nach Art. 51 der EU-Zulassungsverordnung angestrebt.

Literatur

- ANONYMUS, 2004: Crowing Short Rotation Coppice – Best Practice Guidelines. Department for Environment Food and Rural Affairs, Defra Publications, PB 7135, London, 32 pp.
- BURGER, F. und A. WAUER, 2011: Anbau von Energiewäldern. Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft, LWF Merkblatt 19, Freising, 4 S.
- CASLIN, B., J. FINNAN und A. MCCracken, 2011: Short Rotation Coppice Willow – Best Practice Guidelines. Teagasc, Crop Research Centre, Carlow, 72 pp.
- CLAY, D.Y., F. L. DIXON und I. WILLOUGHBY, 2005: Natural products as herbicides for tree establishment. *Forestry*, **78**(1), p. 1-9.
- DAWSON, M., 2007: Short Rotation Coppice Willow – Best Practice Guidelines. Omagh College, Omagh, 50 pp.
- GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2010: Unkrautbekämpfung in Energieholzanlagen. In: Versuchsergebnisse aus Bayern 2010 – Unkrautbekämpfung in Ackerbau und Grünland. S. 210-217.
Online: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/zentralbericht_10.pdf
- GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2011: Unkrautbekämpfung in Energieholzanlagen. In: Versuchsergebnisse aus Bayern 2011 – Unkrautbekämpfung in Ackerbau und Grünland. S. 181-187.
Online: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/zentralbericht_11.pdf
- GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2012: Unkrautbekämpfung in Energieholzanlagen. In: Versuchsergebnisse aus Bayern 2012 – Unkrautbekämpfung in Ackerbau und Grünland. S. 190-197.
Online: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/zentralbericht_lfl_ips3b_12.pdf
- HOFMANN, M., 2008: Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, 22 S.
- LEDIN, S., E. WILLEBRAND, E., 1996: Handbook on how to grow short rotation forests. IEA Bioenergy. Department of Short Rotation Forestry, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- ROBERG, D., V. MICHEL, R. GRAF, R. NEUKAMPF, 2007: Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, Stuttgart, Eugen-Ulmer **59** (7), S. 155–161.
- ROWE, R.L., N.R. STREET, G. TAYLOR, 2009: Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **13**(1), p. 271-290.
- SAGE, R. B., 1999: Weed competition in willow coppice crops: the cause and extent of yield losses. *Weed Research* **39**, p. 399-411.
- TUBBY, I., A. ARMSTRONG, 2002: Establishment and Management of Short Rotation Coppice. Forestry Commission, Edinburgh, 12 pp.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

- UNSELD, R., F. BURGER, M. FRITZ, I. NEU-SCHMID, E. STICKSEL, D. HOFMANN, R. SCHIRMER, 2012: Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen – Leitfaden für die Beratung in der Land- und Forstwirtschaft. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, 30 S.
- WILLOUGHBY, I., D. CLAY, 1996: Herbicides for farm woodlands and short rotation coppice. Forestry Commission Field Book 14, London, 60 pp.
- WILLOUGHBY, I., D. CLAY, 1999: Herbicide Update. Forestry Commission, Technical Paper 28, Edinburgh, 57 pp.
- ZINK, G., H. SCHLÜTER, 1999: PIAF – Planing, Information and Analysis System for Field Trials. In: IT Applications for the Agricultural Extension Service with regard to the Federal Structure of the Administration Organization in Germany. Referate 20. GILJahrestagung & EFITA/99, Bonn, p. 26-41.

Influence of adjuvants and interactions between herbicides and weed species by determination of relative adjuvant-effect on herbicide dose

Einfluss von Additiven und Interaktionen zwischen Herbiziden und Unkrautarten durch Bestimmung des relativen Additiveinflusses auf die Aufwandmenge

Arne Brathuhn* and Jan Petersen

Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Science and Engineering, Fachrichtung Agrarwirtschaft, Berlinstr. 109, 55144 Bingen, Germany

*Korrespondierender Autor, a.brathuhn@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.082

Summary

When adjuvants are used as a partner for herbicides in tank-mixtures, they can have a positive influence on herbicidal efficacy in certain situations. The addition of adjuvants can contribute to an enhanced effect of the herbicide when applying the maximum registered dose or when securing weed control of reduced application rates. The influence of adjuvants depends on weather factors, the herbicide partner and the particular weed species. This study examined the influence of different herbicide-adjuvant-combinations on various weed species. The objective of the study was to clarify, if the addition of an adjuvant to a herbicide leads to comparable results within the examined weed species or if the influence of an adjuvant use varies. The determination of relative adjuvant effects allowed comparisons of the data. The influence of six herbicide-adjuvant-combinations on six weed species was evaluated in greenhouse trials. All herbicides used were from the group of ALS-inhibitors (HRAC-group B). Data of the greenhouse experiments were compared to results from field trials, which were conducted at five sites in Rhineland-Palatinate. One herbicide with and without an addition of an adjuvant was applied per site. Data of the studies reveal that the use of adjuvants results in a positive influence on herbicidal efficacy in most cases. However, strong differences in intensity as well as quality of adjuvant effects regarding the response of different weed species were observed. The efficacy of the herbicide BIATHLON® for example was improved by addition of an adjuvant for *Galium aparine* by a factor 364.56. For *Daucus carota* this factor was 2.98. Growers should necessarily take account of these differences when using adjuvants, especially when they are used to secure reduced application rates.

Keywords: Adjuvant, ALS-inhibitors, herbicide, reduced application rates, weed control

Zusammenfassung

Additive können als Mischpartner für Herbizide in bestimmten Situationen einen positiven Einfluss auf deren Wirkung ausüben. Der Einsatz von Additiven kann zu einer Wirkungsverbesserung der maximal zugelassenen Aufwandmenge führen oder zu einer Absicherung reduzierter Aufwandmengen beitragen. Der Einfluss von Additivzugaben ist abhängig von der Witterung zur Applikationszeit, dem jeweiligen Herbizid und den zu bekämpfenden Unkrautarten. Die vorliegende Arbeit untersuchte den Einfluss von unterschiedlichen Herbizid-Additiv-Kombinationen auf mehrere Unkrautspesies. Ziel der Untersuchungen war es zu klären, ob die Zugabe eines Additivs zu einem Herbizid bei den untersuchten Unkrautarten zu vergleichbaren Ergebnissen führt oder ob der Additiveinfluss zwischen den Arten variiert. Die Bestimmung eines relativen Additiveinflusses ließ Vergleiche der Ergebnisse zu. In Gewächshausversuchen wurde der Einfluss von sechs Herbizid-Additiv-Varianten auf sechs Unkrautarten überprüft. Zum Einsatz kamen Herbizide aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren (HRAC-Gruppe B). Die im Gewächshaus ermittelten Ergebnisse wurden mit Resultaten von Feldversuchen verglichen, die an fünf Standorten in Rheinland-Pfalz durchgeführt wurden. Es wurde jeweils ein Herbizid mit und ohne Zugabe von Additiv untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass der Einsatz von Additiven in den meisten Fällen zu einem positiven Einfluss auf die Wirkung der Herbizide führte. Allerdings wurden starke Differenzen, sowohl in Intensität als auch Qualität, hinsichtlich der Reaktion verschiedener Unkrautarten auf eine Additivzugabe festgestellt. So konnte die Wirkung des Herbizids BIATHLON® durch die Zugabe eines Additivs bei *Galium aparine* um einen Faktor 364,56 gegenüber der Variante ohne Additiv verbessert werden, bei *Daucus carota* lag dieser Faktor bei 2,98. Diese Differenzen sollten beim Einsatz von Additiven, besonders zur Absicherung reduzierter Aufwandmengen, unbedingt berücksichtigt werden.

Stichwörter: Additive, ALS-Inhibitoren, Herbizide, reduzierte Aufwandmengen, Unkrautbekämpfung

Introduction

Adjuvants don't show a direct effect on weeds, but as a partner for herbicides in tank-mixtures they may have a positive influence on the herbicide's efficacy in certain situations. They can support the herbicide e. g. by improving the wetting on the leaf surface, facilitate the uptake of the herbicide to the plant or help to improve sticking to leaf surface (HAZEN, 2000). While some cereal herbicides from the group of ALS-inhibitors (HRAC-group B) are recommended to be used in combination with an adjuvant by the distributors or products are sold together with an adjuvant, the use of adjuvants may also have a positive impact on the efficacy of the remaining products of this mode of action (ZHANG *et al.*, 2000).

This, on the one hand, can lead to an enhanced efficacy of herbicides when applying the maximum registered dosage and thus improve the control of weed species which are usually difficult to control by ALS-inhibitors. On the other hand, the addition of adjuvants to herbicides can be used to secure reduced herbicide rates and contribute to a more economic herbicide treatment for growers (GREEN, 2000). Since growers usually are faced with populations of different weed species in one field, the knowledge of the influence of an adjuvant on all weed species in a field is essential for securing below-labeled application rates. Therefore it is important to clarify the influence of an addition of an adjuvant on different weed species. If weed-specific differences regarding the adjuvant effect within a tank-mixture occur, these differences have to be considered when planning a herbicide treatment using reduced application rates.

The objective of this study was to investigate the response of different weed species to certain herbicide-adjuvant-combinations in greenhouse trials. Analysis of ED₉₀-values and determination of relative adjuvant-effects on herbicide doses allowed the comparison of weed-specific responses to herbicide treatments. Furthermore data from different field trials was compared with results from greenhouse trials.

Material and Methods

Greenhouse trials

Investigations on the influence of adjuvants on different herbicides and weed species were carried out in two greenhouse trials. In total six weed species and six herbicides were part of the trials (Tab. 1). For the estimation of dose-response curves the herbicides were applied in eight different application rates. Determination of application rates was based on previously conducted greenhouse trials. The rate of the adjuvants was kept constantly over all herbicide rates. Plants were cultivated in a sieved and sterilized soil (sandy loam, pH-value ~ 6.3, organic matter content ~ 2%) in 10 cm diameter *JIFFY-SPEEDY* pots. Seeds were sown directly into the pots (*Centaurea cyanus*), pre-germinated on wet tissue (*Galium aparine*, *Veronica hederifolia*) or grown in trays with soil and then transplanted (*Daucus carota*, *Myosotis arvensis*, *Stellaria media*). The herbicide application was done at two- to four-leaf stage (BBCH 12-14) of the weeds. For every herbicide and application rate three replicates with five plants per pot were laid out. The application was done with a laboratory sprayer (SCHACHTNER, nozzle TEE JET 9502EVS, water volume 250 L/ha, pressure 2.5 bar, speed 2.5 km/ha). Plants were watered from below by flooding the tables when necessary. 21 days after application fresh weight of the single plants was determined. Dose response curves and ED₉₀-values were calculated by using SIGMA PLOT 11.0 (Systat Software Inc.) following the methods of STREIBIG (1988) and STREIBIG *et al.* (1995).

Tab. 1 Tested weed species and used herbicides and adjuvants (greenhouse).**Tab. 1** *Untersuchte Unkrautspesies und eingesetzte Herbizide und Additive (Gewächshaus).*

Year	Species	Herbicide (max. registered rate)	Dosages tested [%]*	Adjuvant
2012	CENCY	Biathlon (70 g/ha)	1.56; 3.13; 6.25; 12.5; 25; 50; 100; 200	Dash® (1.0 L/ha)
		Lexus (20 g/ha)		Trend® (0.3 L/ha)
		Concert SX (150 g/ha)	3.13; 6.25; 12.5; 25; 50; 100; 200; 500	Trend® (0.3 L/ha)
		Primus (100 mL/ha)	1.56; 3.13; 6.25; 12.5; 25; 50; 75; 100	Dash® (1.0 L/ha)
	GALAP	Primus (100 mL/ha)	1.56; 3.13; 6.25; 12.5; 25; 50; 75; 100	Dash® (1.0 L/ha)
	VERHE	Biathlon (70 g/ha)	0.78; 1.56; 3.13; 6.25; 12.5; 25; 50; 100	Dash (1.0 L/ha)
	Concert SX (150 g/ha)		Trend (0.3 L/ha)	
	Lexus (20 g/ha)		Trend (0.3 L/ha)	
2013	DAUCA	Biathlon (70 g/ha)	0.78; 1.56; 3.13; 6.25; 12.5; 25; 50; 100	Dash (1.0 L/ha)
		Refine Extra (60 g/ha)		Dash (1.0 L/ha)
	GALAP	Biathlon (70 g/ha)	0.78; 1.56; 3.13; 6.25; 12.5; 25; 50; 100	Dash (1.0 L/ha)
		Hoestar Super (200 g/ha)		Mero (1.0 L/ha)
	MYOAR	Biathlon (70 g/ha)		Dash (1.0 L/ha)
		Lexus (20 g/ha)	0.78; 1.56; 3.13; 6.25; 12.5; 25; 50; 100	Trend (0.3 L/ha)
		Primus (100 mL/ha)		Dash (1.0 L/ha)
		Refine Extra (60 g/ha)		Dash (1.0 L/ha)
	STEME	Biathlon (70 g/ha)		Dash (1.0 L/ha)
Lexus (20 g/ha)		0.08; 0.78; 1.56; 3.13; 6.25; 12.5; 25; 50	Trend (0.3 L/ha)	
Primus (100 mL/ha)			Dash (1.0 L/ha)	

BIATHLON®:714 g/kg tritosulfuron; CONCERT® SX:40 g/kg metsulfuron + 400 g/kg thifensulfuron); HOESTAR® SUPER: 125 g/kg amidosulfuron + 12,5 g/kg iodosulfuron; LEXUS®: 500 g/kg flupyrsulfuron; PRIMUS®:50 g/l florasulam; REFINE® EXTRA: 320 g/kg thifensulfuron + 160 g/kg tribenuron; DASH®: 345 g/l fatty acid methyl ester + 205 g/l fatty alcohol alkoxyolate + 46 g/l oleic acid ; TREND® 90: 900 g/l isodecylalcohol-ethoxyolate; * % of max. registered rate

Field trials

Field trials were conducted in 2012 and 2013 at five different sites in Rhineland-Palatinate (Bingen, Gausheim, Winzberg I + II, Wittlich). At each site, one herbicide was applied in six or four application rates, respectively. Each herbicide was applied alone and in mixture with an adjuvant (Tab. 2). The rate of the adjuvants was kept constantly at 1.0 L/ha for every herbicide and dosage. Field trials were carried out in a randomized block design. For every herbicide and application rate four replicates were set up. The plot size was 20 m². For the application a plot sprayer (nozzle AI 110025, water volume 200 L/ha, pressure 2.1 bar, speed 4.5 km/ha) was used. Between end of April and beginning of May 2013 the effect of the treatments was estimated at all sites by visual assessment 21 to 28 days after application. The efficacy of an herbicide treatment at a given application rate was estimated by comparison to an untreated control. Dose response curves and ED₉₀-values were calculated by using SIGMA PLOT 11.0 (Systat Software Inc.) following the methods of STREIBIG (1988) and STREIBIG *et al.* (1995). Following to an angle transformation of the estimated values of the assessments, an one-way analysis of variance was carried out by using SAS 9.3 (SAS Institute Inc.), followed by a Tukey-HSD comparison of means ($\alpha = 0.05$).

Tab. 2 Tested weed species and used herbicides and adjuvants (field trials).**Tab. 2** *Untersuchte Unkrautspesies und eingesetzte Herbizide und Additive (Feldversuche).*

Site	Culture	Date	Herbicide (max. reg. Dosage)	Dosages [%]*	Adjuvant
Bingen	WW	NAF	Biathlon® (70 g/ha)		
Gaulsheim	WW	NAH	Primus® (75 mL/ha)	6.25; 12.5; 25; 50; 75; 100	DASH® (1.0 L/ha)
Winzberg I	WG	NAF	Biathlon® 4D (70 g/ha)		
Wittlich	WW	NAF	Biathlon® (70 g/ha)		
Winzberg II	WG	NAF	Biathlon® 4D (70 g/ha)	40; 60; 80; 100	DASH® (1.0 L/ha)

BIATHLON® 4:714 g/kg Tritosulfuron + 54 g/kg Florasulam; WW – winter wheat; WG – winter barley; *% of max. registered dosage; NAH – post em. in autumn; NAF – post em. in spring

Results

Greenhouse trials

Table 3 shows the calculated ED₉₀-values of the herbicide-treatments with and without adjuvant use sorted by weed species. With the sensitivity-factor (SF), a relationship between the calculated ED₉₀-values and the maximum registered dose of the tested herbicide is established. Values below 1 indicate ED₉₀-values below the max. registered dosage, while values above 1 indicate, that the max. registered dosage was not sufficient to control a certain weed species. The column factor shows the quotient of the sensitivity-factors ($SF_{\text{herbicide}} / SF_{\text{herbicide+adjuvant}}$). The analysis of the ED₉₀-values shows that, excluding one exception (*S. media*, LEXUS/LEXUS+TREND), ED₉₀-values of the herbicide-treatments with adjuvant were lower than the corresponding values without adjuvant-use. Large differences emerged regarding the intensity of the adjuvant-effect on different weed species within one herbicide-adjuvant-mixture. The highest adjuvant-effects showed up within the product BIATHLON (*G. aparine*; factor 364.56).

The largest differences between factors of weed species in total regarding the effect of an adjuvant-addition were also observed within various treatments of this product. In the 2012 trial the adjuvant improved the herbicidal efficacy on *V. hederifolia* by a factor 2.76, on *C. cyanus* by a factor 193.07. In the 2013 trial the effect of the adjuvant strongly varied again. ED₉₀-values of the species *D. carota* were reduced 2.98 times; the values of *G. aparine* were reduced 364.56 times. There were also differences occurring within LEXUS (*C. cyanus*: factor 16.50; *V. hederifolia*: factor 1.05) and PRIMUS (*G. aparine*: factor 11.75; *S. media*: factor 1.90) treatments, as well as within CONCERT SX and REFINE EXTRA treatments. However, these differences were not as strong as within the BIATHLON treatment.

Nine of 19 tested weed-herbicide-combinations revealed ED₉₀-values above the registered dose without the addition of adjuvants, while the joint application of herbicide and adjuvant resulted in ED₉₀-values below the registered dosage. In six cases, the ED₉₀-value without adjuvant-use was below the registered dosage and was enhanced by the addition of an adjuvant. Three combinations revealed an enhancing influence of an adjuvant on the herbicidal effect; however, the ED₉₀-values with adjuvant were still above the registered dose rates.

Tab. 3 ED₉₀-values (g or mL/ha) and sensitivity-factors (SF = ED₉₀/max. registered dosage) of herbicides with and without adjuvant for different weed species (greenhouse trials).

Tab. 3 ED₉₀-Werte (g bzw. mL/ha) und Sensitivitätsfaktoren (SF = ED₉₀/max. zugel. Aufwandmenge) von Herbiziden mit und ohne Additiv bei unterschiedlichen Unkrautarten (Gewächshausversuche).

Year	Species		Herbicide	Herbicide + Adjuvant	Factor	
			Biathlon	Biathlon + adj.		
2012	CENCY	ED ₉₀	1594.74	8.28	193.07	
		SF	22.83	0.12		
2012	VERHE	ED ₉₀	15.89	5.75	2.76	
		SF	0.28	0.08		
2013	DAUCA	ED ₉₀	1414.04	473.83	2.98	
		SF	20.20	6.77		
2013	GALAP	ED ₉₀	11179.82	30.67	364.56	
		SF	159.71	0.44		
2013	MYOAR	ED ₉₀	3262.35	13.90	234.73	
		SF	46.61	0.20		
2013	STEME	ED ₉₀	184.99	3.45	53.58	
		SF	2.64	0.05		
			Concert SX	Concert SX + adj.		
2012	CENCY	ED ₉₀	609.06	361.62	1.68	
		SF	4.06	2.41		
2012	VERHE	ED ₉₀	7.12	6.84	1.04	
		SF	0.05	0.05		
			Hoestar Super	Hoestar Super + adj.		
2013	GALAP	ED ₉₀	338.41	45.81	7.39	
		SF	1.69	0.23		
			Lexus	Lexus + adj.		
2012	CENCY	ED ₉₀	188.33	11.42	16.50	
		SF	9.42	0.57		
2012	VERHE	ED ₉₀	31.36	29.75	1.05	
		SF	1.57	1.49		
2013	MYOAR	ED ₉₀	33.27	19.51	1.71	
		SF	1.66	0.78		
2013	STEME	ED ₉₀	6.60	8.94	0.74	
		SF	0.33	0.45		
			Primus	Primus + adj.		
2012	CENCY	ED ₉₀	122.76	29.20	4.21	
		SF	1.23	0.29		
2012	GALAP	ED ₉₀	57.15	4.86	11.75	
		SF	0.57	0.05		
2013	MYOAR	ED ₉₀	35.14	4.96	7.08	
		SF	0.35	0.05		
2013	STEME	ED ₉₀	0.74	0.39	1.90	
		SF	0.007	0.004		
			Refine Extra	Refine Extra + adj.		
2013	DAUCA	ED ₉₀	368.01	50.07	7.35	
		SF	6.13	0.83		
2013	MYOAR	ED ₉₀	23.67	1.93	12.27	
		SF	0.39	0.03		

Field trials

Analysis of dose-response-curves from field trials reveals that the use of adjuvants improved the effect of herbicide treatments (Tab. 4). At the trial site Bingen, the efficacy of the BIATHLON application was improved by the addition of Dash. ED₉₀-values of *G. aparine* were improved by a factor 1.56, those of *Matricaria inodora* by 1.31. At the site in Gaulsheim efficacy of the herbicide Primus was improved by Dash for *G. aparine* by a factor 1.73. The ED₉₀-values without adjuvant-use of *G. aparine* were above the authorized amount at both sites. The addition of the adjuvant led to values below that amount. Both ED₉₀-values, with and without adjuvant-addition, of *M. inodora* were below the maximum registered dose. However, the addition of the adjuvant led to a lower ED₉₀-value.

Tab. 4 ED₉₀-values (g or mL/ha) and sensitivity-factors (SF = ED₉₀/max. registered dosage) of herbicides with and without adjuvant for different weed species (field trials).

Tab. 4 ED₉₀-Werte (g bzw. mL/ha) und Sensitivitätsfaktoren (SF = ED₉₀/max. zugel. Aufwandmenge) von Herbiziden mit und ohne Additiv bei unterschiedlichen Unkrautarten (Feldversuche).

Year	Species		Herbicide	Herbicide + Adjuvant	Factor
			BIATHLON	BIATHLON + adj.	
Bingen	GALAP	ED ₉₀	77.00	49.40	1.56
		SF	1.10	0.71	
Bingen	MATIN	ED ₉₀	57.21	43.66	1.31
		SF	0.82	0.62	
			PRIMUS	PRIMUS + adj.	
Gaulsheim	GALAP	ED ₉₀	104.18	60.29	1.73
		SF	1.39	0.80	

Results of the estimation of herbicidal efficacy reveal that the success of an addition of adjuvants varies between different weed species. The product Biathlon 4D was applied with and without adjuvant at the sites Winzberg I and Winzberg II. *Viola arvensis* and *Veronica* species occurred at both sites. Table 5 shows the mean values of the estimation of herbicidal efficacy of each application rate for *V. arvensis*. A positive influence of the adjuvant could be observed at both sites. At Winzberg I the improvement from the adjuvant was observed at reduced application rates ≤ 50%. At the higher rates 75% and 100% no enhancement effect from the adjuvant could be observed. Control of the weed species was given even without the adjuvant. At the site Winzberg II the use of an adjuvant led to enhanced herbicidal effects in all application rates. There was a statistically significant difference of the mean values between herbicide without and with adjuvant in the two highest rates.

An enhanced herbicidal efficacy with use of an adjuvant was also observed for *Veronica* species (Tab. 6). At the site Winzberg I efficacy mean values of treatments with adjuvant were higher as compared to the herbicides applied alone. Weed control values of the application rates 75 and 100% were significantly different. In Winzberg II weed control values achieved by the highest and lowest application rate were significantly higher with adjuvant than without. Also at 80% of the maximum registered dosage an enhanced herbicidal efficacy by the adjuvant was observed.

Tab. 5 Effect of BIATHLON 4D in different application rates with and without adjuvant on *Viola arvensis* at two sites. Small letters indicate significant differences within one application rate.

Tab. 5 Wirkung von BIATHLON 4D in unterschiedlichen Aufwandmengen mit und ohne Additiv auf *Viola. arvensis* an zwei Standorten. Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Aufwandmenge.

Species	Winzberg I			Winzberg II		
	D. [%]*	BIATHLON 4D	BIATHLON 4D + adj.	D. [%]	BIATHLON 4D	BIATHLON 4D + adj.
VIOAR	6.25	36.3 b	60.0 a	--	--	--
	12.5	56.3 b	78.8 a			
	25	81.3 a	83.8 a	40	56.3 a	62.5 a
	50	88.8 b	94.5 a	60	72.5 a	77.5 a
	75	94.5 a	95.8 a	80	81.3 b	85.0 a
	100	98.0 a	98.0 a	100	86.3 b	95.0 a

* = % of max. registered dosage

Tab. 6 Effect of BIATHLON 4D in different application rates with and without adjuvant on *Veronica* sp. at two sites. Small letters indicate significant differences within one application rate.

Tab. 6 Wirkung von BIATHLON 4D in unterschiedlichen Aufwandmengen mit und ohne Additiv auf *Veronica* sp. an zwei Standorten. Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Aufwandmenge.

Species	Winzberg I			Winzberg II		
	D. [%]*	BIATHLON 4D	BIATHLON 4D + adj.	D. [%]	BIATHLON 4D	BIATHLON 4D + adj.
VERSS	6.25	66.3 a	76.3 a	--	--	--
	12.5	73.8 a	77.5 a			
	25	78.8 a	82.5 a	40	61.3 b	72.5 a
	50	85.0 a	90.0 a	60	83.8 a	78.8 a
	75	87.5 b	95.8 a	80	83.8 a	87.5 a
	100	88.8 b	97.3 a	100	83.8 b	92.5 a

* = % of max. registered dosage

Tab. 7 Effect of Biathlon 4D in different application rates with and without adjuvant on *Papaver rhoeas* at two sites. Small letters indicate significant differences within one application rate.

Tab. 7 Wirkung von Biathlon 4D in unterschiedlichen Aufwandmengen mit und ohne Additiv auf *Papaver rhoeas* an zwei Standorten. Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Aufwandmenge.

Species	Wittlich			Winzberg II		
	D. [%]*	BIATHLON	BIATHLON + adj.	D. [%]	BIATHLON 4D	BIATHLON 4D + adj.
PAPRH	6.25	3.8 a	0.0 a	--	--	--
	12.5	22.5 a	0.0 b			
	25	99.0 a	78.8 a	40	75.0 a	81.3 a
	50	97.5 a	86.3 b	60	93.8 a	83.8 b
	75	97.8 a	99.0 a	80	92.5 a	93.3 a
	100	99.0 a	99.5 a	100	94.5 a	96.5 a

* = % of max. registered dosage

Apart from *Viola arvensis* and *Veronica* species at Winzberg II also *Papaver rhoeas* occurred. Contrary to both other species an enhancing influence of the adjuvant-addition could not be observed (Tab. 7). The treatment without additive revealed a weed control above 90% at application rates 60% and higher, while within the treatment with adjuvant this control value was achieved only from the 80% application rates on. Comparable results were observed in Wittlich.

Effects above 95% without adjuvant were achieved at application rates of 25% and higher. With an addition of an adjuvant these effects were achieved only from 75% application rates on.

Discussion

The use of adjuvants in herbicide treatments in cereals can result in an improved herbicidal effect regarding the control of various weed species. Results from greenhouse experiments reveal that an addition of adjuvants had an enhancing impact on the efficacy of herbicides in almost all cases. Adjuvants may be used also with herbicides that are not recommended to use with an adjuvant to secure control of weed species that are difficult to control with ALS-inhibitors at the maximum registered dosage. Although the effect of an adjuvant-addition is not equal throughout all products, data from greenhouse experiments shows that there were efficacy enhancing effects in all tested products. Furthermore it was shown that the impact of an adjuvant on a certain herbicide can vary strongly regarding the tested weed species. Similar observations were made during field trials. While at one site an improved herbicidal efficacy could be observed for two species, this could not be observed for a third species. That could be traced back to the sensitivity of a species towards a certain herbicide as well as to morphological characteristics of the particular species (leaf surface, hairs etc.).

Besides clear differences in the intensity of an adjuvant-effect, also differences in the quality of influences by adjuvants were observed. The results from greenhouse trials show that in most of the cases the addition of adjuvants lead to an ED₉₀-value below the maximum registered dosage. In some combinations an improved herbicidal efficacy was observed, however the ED₉₀-value could not be reduced below the maximum registered dosage. In six of 19 tested combinations the ED₉₀-value without adjuvant was already below that point and could be improved further. These observations were also made in results from field trials. ED₉₀-values of two herbicides could be reduced below the maximum registered dose for *G. aparine* by the addition of adjuvants. For *M. inodora* the ED₉₀-value was improved, but both treatments were below the authorized amount of herbicide.

These differences in intensity and quality of the adjuvant-effect may well be relevant if adjuvants are used to secure reduced herbicide application rates. There was no general equal effect of an addition of an adjuvant to an herbicide throughout all tested weed species. Therefore it is of decisive importance for the grower to know all weed species in a field and about the interactions of adjuvant-herbicide-mixtures and the occurring weed species to secure reduced application rates. To confirm specifically case-by-case observations, more experiments with different weed-herbicide/adjuvant-combinations should be done.

References

- GREEN, J., 2000: Adjuvant Outlook for Pesticides. Pesticide Outlook **11**, 196-199.
- HAZEN, J. L., 2000: Adjuvants - Terminology, Classification, and Chemistry. Weed Technology **14** (4), 773-784.
- STREIBIG, J. C., 1988: Herbicide Bioassay. Weed Research **28**, 479-484.
- STREIBIG, J. C., A. WALKER and A. M. BLAIR, 1995: Variability of Bioassays with Metsulfuron-methyl in Soil. Weed Research **35**, 215-224.
- ZHANG, J., S. E. WEAVER and A. S. HAMIL, 2000: Risks and Reliability of Using Herbicides at Below-Labeled Rates. Weed Technology **14** (1), 106-114.

Entwicklung und Anwendung einer Heuristik für flexible Herbizidentscheidungen in Fruchtfolgeversuchen

Development and application of a heuristic for flexible decisions about herbicide use in crop rotation field experiments

Thomas Kunze*, Friederike de Mol und Bärbel Gerowitz

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Phytomedizin, Satower Straße 48, 18059 Rostock

*Korrespondierender Autor, thomas.kunze@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.083

Zusammenfassung

Zur Regulierung von Unkräutern im Ackerbau tragen langfristige strategische Maßnahmen wie die Gestaltung der Fruchtfolge, Düngung oder Bodenbearbeitung indirekt bei. Der Herbizideinsatz ist im Gegensatz dazu eine direkte und kurzfristige taktische Maßnahme. Strategische und taktische Entscheidungen wirken immer zusammen und beeinflussen die Messgrößen Unkrautbesatz und Herbizidaufwand. Im Rahmen dieser Studie werden Auswirkungen strategischer und taktischer Entscheidungen bei der Unkrautbekämpfung in Kombination untersucht. Dieser Beitrag erläutert die Entwicklung einer Heuristik für Bekämpfungsentscheidungen, die auf unterschiedliche Verunkrautungen angewendet werden kann. Unter Berücksichtigung der Unkrautdichte und artspezifischer Verlustfaktoren werden flexible Herbizidentscheidungen für situationsbezogene Verunkrautungen und einer vorgegebenen Herbizidintensität abgeleitet. Die Umsetzung in einem Fruchtfolgeversuch an den Standorten Rostock und Göttingen in der Fruchtart Winterweizen wird als Beispiel gezeigt. Die Herbizidintensität soll in drei Stufen (hoch, mittel und niedrig) kontrastierende Bekämpfungsziele von 100 %, 85 % und 60 % erreichen. Die entwickelte Heuristik ermöglicht reproduzierbare Entscheidungen bei unterschiedlichen Verunkrautungen. Erste Ergebnisse zeigen eine Abnahme des Herbizideinsatzes durch eine Reduzierung des Wirkstoffeinsatzes von der hohen zur niedrigen Herbizidintensität.

Stichwörter: Herbizideinsatz, strategische und taktische Entscheidungen, Unkrautbesatz, Winterweizen

Abstract

Weeds in agriculture are controlled indirectly by strategic management tools (crop rotation, fertilization, tillage). Herbicide use is a direct tactical management tool for weed control. However, strategic and tactical measures interact together regarding weed management and thereby influence weed infestations and herbicide use. This study investigated the impact of strategic and tactical decisions in combination. It describes the development of a heuristic, which can be applied for different weed situations. By considering weed densities and species specific loss factors flexible herbicide decisions are derived for specific weed infestations and a given herbicide intensity. The implementation of decisions based on the heuristic is shown as an example for winter wheat crops in a rotation experiment at the study sites Rostock and Göttingen (Germany). The intensity of herbicide use serves for contrasts with three degrees (high, medium and low) representing three levels of target efficacy (100%, 85% and 60%). The introduced heuristic enables reproducible decisions for various weed infestations. First results show reduced herbicide use from high to the low level of herbicide intensity in terms of reduced numbers of active ingredients use.

Keywords: Herbicide use, strategic and tactical decisions, weed infestation, winter wheat

Einleitung

Unkräuter können im Ackerbau mit ganz verschiedenen Instrumenten reguliert werden. Pflanzenbauliche Maßnahmen wie die Gestaltung der Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Düngung werden dabei in der Regel nicht direkt und maßgeschneidert für die Unkrautbekämpfung angewendet, sondern sind Teil der strategischen Planung des gesamten Anbausystems (ANDERSON, 1999; BUHLER, 2003). Nichtsdestotrotz beeinflussen sie die tatsächliche Unkrautsituation im Feld massiv. Insbesondere die Gestaltung der Fruchtfolge ändert die Unkrautartenzusammensetzung und längerfristig auch die Dichten der Arten (BUHLER, 2003). Ungeachtet dieses traditionellen und bewährten Wissens werden in der agrarischen Praxis die

Fruchtfolgen immer stärker verkürzt, Selbstfruchtfolgen oder Fruchtfolgen mit zwei Feldfrüchten sind keine Seltenheit (STEINMANN und DOBERS, 2013). Fruchtfolgen, die nur aus Winterungen oder nur aus Sommerungen bestehen, fördern das Auftreten von Unkrautarten, die gut an die daraus resultierenden Bedingungen angepasst sind (ULBER *et al.*, 2009). Das Vorherrschen solcher gut angepasster Arten erhöht meistens den direkten Bekämpfungsaufwand (TORRA *et al.*, 2008). Entscheidungen zur Fruchtfolgegestaltung sind klassische strategische Entscheidungen beim Management pflanzenbaulicher Anbausysteme. Strategische Entscheidungen betreffen Maßnahmen mit langfristigen Auswirkungen. Sie müssen komplexe Zusammenhänge berücksichtigen und sind in einer Anbauperiode schwer anpassbar oder gar revidierbar.

In der konventionellen landwirtschaftlichen Praxis werden Unkräuter mit Herbiziden bekämpft. Im Gegensatz zur Fruchtfolgegestaltung ist Herbizideinsatz eine direkte Bekämpfungsmaßnahme, die nur auf Unkräuter abzielt und auch immer unmittelbare Folgen für diese hat. Herbizide können maßgeschneidert für die jeweilige Situation eingesetzt werden. Herbizidmaßnahmen sind klassische taktische Maßnahmen: sie wirken zunächst kurzfristig und mit ihnen kann in der laufenden Anbauperiode justiert werden. Ob Taktiken zum Herbizideinsatz in einer Anbauperiode weitgehend fest geplant oder flexibel angepasst werden, entscheidet sich in der agrarischen Praxis zumeist auf Betriebsebene (BÜRGER *et al.*, 2012).

Strategische und taktische Entscheidungen wirken im letztendlichen Ergebnis selbstverständlich zusammen. Sie beeinflussen einerseits die Messgröße „Verunkrautung“, andererseits aber auch die Messgröße „Herbizideinsatz“. Beide Messgrößen können berücksichtigt werden, wenn das Zusammenwirken von strategischen und taktischen Entscheidungen in der Unkrautbekämpfung untersucht werden soll.

In der Unkrautforschung werden Fruchtfolgeversuche durchgeführt, um das Potenzial der Fruchtfolgegestaltung für die Unkrautregulierung zu testen (CHIKOWO *et al.*, 2009). In der Regel wird auch eine Unkrautbekämpfung durchgeführt. Dazu werden alle Fruchtfolgefelder mit einer standardisierten, über den Versuchszeitraum möglichst gleichbleibenden, zu Versuchsbeginn festgelegten Unkrautbekämpfung versehen - der Herbizideinsatz ist also nicht maßgeschneidert, sondern folgt einer bis in die einzelnen Präparate festgeschriebenen Taktik (FORTINO *et al.*, 2010). Mess- und Vergleichsgrößen für die Veränderungen über die Zeit sind dann die Erträge der Varianten und der Unkrautbesatz (PALLUTT und MOLL, 2008).

Soll das Wechselspiel zwischen strategischer Fruchtfolgegestaltung und taktisch darauf abgestimmtem Herbizideinsatz untersucht werden, ist es eine methodische Herausforderung, diese gegenseitige Beeinflussung in einem Versuchsdesign umzusetzen. Dafür ist es sinnvoll, nicht nur die gemessene Verunkrautung als Ergebnis der eingesetzten Herbizide zu betrachten, sondern die Analysen auch umgekehrt zu planen: welcher Herbizideinsatz resultiert aus den sich ändernden Verunkrautungen. Dies wird umso wichtiger, je länger der Betrachtungszeitraum für die Wirkungen von Fruchtfolgen auf die Verunkrautung wird. Abbildung 1 greift dies auf und verdeutlicht schematisch die Zusammenhänge.

Im Rahmen eines Fruchtfolgeversuchs an zwei Standorten sind diese Analysen geplant. Dafür werden die Auswirkungen strategischer und taktischer Entscheidungen bei der Unkrautbekämpfung in Kombination untersucht. Die Unkrautbekämpfungsintensität kann allerdings auch unabhängig von der Fruchtfolge variiert werden. Ex ante gibt es keinen Anhaltspunkt, welche Intensität die „richtige“ ist. Abbildung 1 verdeutlicht dies durch verschiedene Herbizidintensitäten bei der strategischen Planung, die die taktischen Entscheidungen zusammen mit der Fruchtfolge bestimmen.

In der Versuchsplanung müssen diese zu untersuchenden Herbizidintensitäten langfristig festgelegt werden, deswegen repräsentieren sie eine Strategie, analog zur Fruchtfolge. Die Herbizidintensität ist in dem Fruchtfolgeversuch dreimal abgestuft (Abb. 1). Diese Stufen sind durch Zielwirkungsgrade in den Varianten, nicht durch feste Herbizideinsätze definiert. Der in den verschiedenen Fruchtfolgen resultierende flexible Herbizideinsatz wird dann als Messgröße für die

notwendige Intensität der taktischen Regulierung genutzt, um die Fruchtfolgen vergleichen zu können. Eine zwingende Voraussetzung dafür ist es, taktische Unkrautbekämpfungsentscheidungen abgestimmt, in sich logisch und reproduzierbar zu gestalten. Da taktische Entscheidungen schnell und mit gegebenenfalls unzureichenden Informationen getroffen werden müssen, bedarf es einer Heuristik für diese Entscheidungen. Mit Hilfe der Heuristik wird für jeden Zielwirkungsgrad eine konkrete Herbizidtaktik abgeleitet.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Heuristik, die zu reproduzierbaren Entscheidungen bei den unterschiedlichsten Verunkrautungen führt. Am Beispiel der Fruchtfolgefelder Winterweizen eines Fruchtfolgeversuchs wird das heuristische Vorgehen dargestellt.

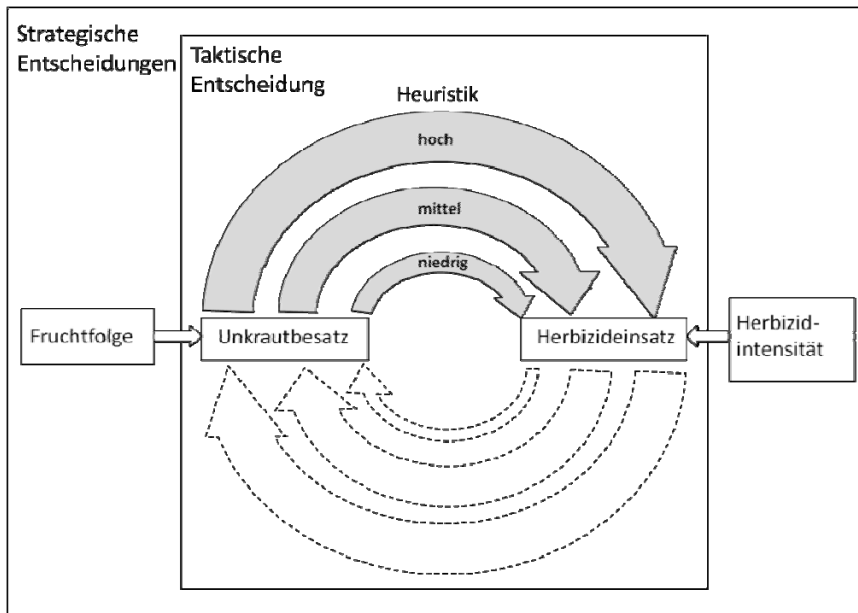


Abb. 1 Umsetzung von strategischen und taktischen Entscheidungen im Fruchtfolgeversuch.

Fig. 1 Implementation of strategic and tactical decisions in the crop rotation experiment.

Material und Methoden

Entwicklung der Heuristik

Die zu entwickelnde Entscheidungsregel soll auf erhobenen Daten zur Verunkrautung beruhen. Unkrautbekämpfungstermine, an denen noch keine Unkräuter aufgelaufen sind, werden deshalb in der Heuristik nicht berücksichtigt.

Entwicklung und Zustand der Kultur sollen den Zeitpunkt der Anwendung der Heuristik bestimmen, nicht aber ihr Ergebnis. Das Ergebnis muss im ersten Schritt von den Unkrautarten, den Dichten der einzelnen Arten und dem daraus entstehenden Schadenspotenzial abgeleitet werden. Im Weiteren sollen innerhalb von Bekämpfungintensitäten Herbizidtaktiken für unterschiedliche Ausgangsverunkrautungen reproduzierbar abgeleitet werden, um sie dann in konkrete Herbizideinsätze umsetzen zu können.

Ausgangspunkt für den ersten Schritt ist immer eine Liste aller vorkommenden Unkrautarten mit ihren jeweiligen Dichten.

Um das Schadenspotenzial der vorhandenen Dichten abschätzen zu können, werden artspezifische Verlustfaktoren benötigt. Von WERNER *et al.* (2004) wurden verfügbare Daten zu

verursachten Verlusten durch verschiedene Unkrautarten im Winterweizen zusammengestellt. Darüber hinaus erarbeiteten die Autoren einen Algorithmus, um mit Hilfe von artspezifischen Merkmalen, für Arten, zu denen in der Literatur keine Angaben zu den verursachten Verlusten zu finden waren, Verlustfaktoren zu interpolieren. Die Verlustfaktoren berücksichtigen nur Ertragsverluste, die durch Konkurrenz entstehen. Wir wenden die Verlustfaktoren linear für die Unkrautarten an, um die Ertragsrelevanz der Art im Vergleich zu anderen Arten einschätzen zu können.

Aus artspezifischen Dichten und artspezifischen Verlustfaktoren wird die artspezifische Verlustrelevanz multipliziert. Die potenziellen artspezifischen Verluste werden für alle in der jeweiligen Situation erfassten Unkrautarten rangiert, kumuliert und als Relativanteil am potenziellen Gesamtverlust ausgedrückt.

Für den zweiten Schritt, Bekämpfungsintensitäten für unterschiedliche Ausgangsverunkroutungen reproduzierbar festzulegen, wird der Relativanteil des Gesamtverlusts bestimmt, den der Herbizideinsatz verhindern soll. Dieser Relativanteil ist das Bekämpfungsziel. Dieser kann auf die rangierte und kumulierte Liste der relativen Verluste für die spezifische Situation projiziert werden. Das Bekämpfungsziel teilt die Arten auf der kumulierten Liste ein in solche, die bekämpft werden müssen und solche, die um dieses Bekämpfungsziel zu erreichen, nicht bekämpft werden müssen. Die Rangierung gewährleistet, dass immer zunächst die Arten mit den höchsten prognostizierten Verlustanteilen bei der Entscheidung berücksichtigt werden.

An dieser Stelle muss in der Heuristik berücksichtigt werden, dass nicht alle Unkrautarten in ihrer Schadwirkung hinreichend durch die Verlustfaktoren beschrieben sind. Im Winterweizen betrifft dies vor allem das Klettenlabkraut: die Art verursacht Verluste durch Erhöhung von Unkrautsamen im Erntegut (= Schwarzbesatz) sowie technologische Verluste bei der Ernte, die deutlich über die Ertragsverluste durch Konkurrenz hinausgehen (GEROWITT, 1992; WERNER *et al.*, 2004). Gelangt diese Art in der rangierten Liste der relativen Verluste nicht unter die Arten, die für das Bekämpfungsziel relevant sind, muss sie trotzdem bei der Bekämpfungsentscheidung berücksichtigt werden. Hierfür wird die Art zusätzlich mit Hilfe eines festen Schwellenwerts für ihre sonstigen Verluste (0,1 Pflanzen/m²) in der Rangierung so modifiziert, dass beim Überschreiten des Schwellenwertes immer die Entscheidung zu bekämpfen ausgelöst wird.

In der Heuristik ist jetzt festgelegt, welche Arten in der spezifischen Situation bekämpft werden müssen, um das gewählte Bekämpfungsziel zu erreichen. In einem letzten Schritt muss dieses „Verlustverhinderungsziel“ nun in eine konkrete Herbizidentscheidung umgesetzt werden. Dazu werden zunächst Herbizide gesucht, die die Unkrautarten mit den höchsten prognostizierten Ertragsverlusten mit der besten Wirksamkeit bekämpfen, je nach Höhe des relativen Verlustanteils der folgenden Unkräuter werden dann Herbizide ergänzt bis das jeweilige Bekämpfungsziel erreicht ist. Die Wirksamkeit der verschiedenen Handelspräparate wird Berichten und Empfehlungen von Landespflanzenschutzdiensten und Fachzeitschriften entnommen. Dabei wird i.d.R. auf Tabellen zurückgegriffen, in denen die Handelspräparate mit Hilfe von abgestuften Wirksamkeiten eingeschätzt werden (die sogenannten „Kreuzchentabellen“). Präparate mit der höchsten Wirksamkeit (ausgewiesen mit drei bis vier Kreuzchen) werden gemäß der gewählten Herbizidintensität gegen bekämpfungswürdige Unkräuter eingesetzt. Handelspräparate, deren Wirkstoffe eine über das gewählte Bekämpfungsziel hinausgehende Wirkung verursachen würden, werden möglichst vermieden. Dennoch können Unkrautarten außerhalb des Bekämpfungsziels durch Mischungspartner mit erfasst werden.

Dieses Vorgehen bei der Entscheidungsfindung kann dazu führen, dass Situationen mit einem hohen Bekämpfungsziel danach verlangen mehr Wirkstoffe einzusetzen. Andererseits können viele zu bekämpfende Unkrautarten auch dazu führen, dass mehr Wirkstoffe eingesetzt werden müssen, um das Bekämpfungsziel zu erreichen.

Anwendung im Versuch

In diesem Beitrag wird die beschriebene Heuristik in zwei Fruchtfolgeversuchen, in denen gleichzeitig der Herbizideinsatz reproduzierbar variiert werden soll, angewendet.

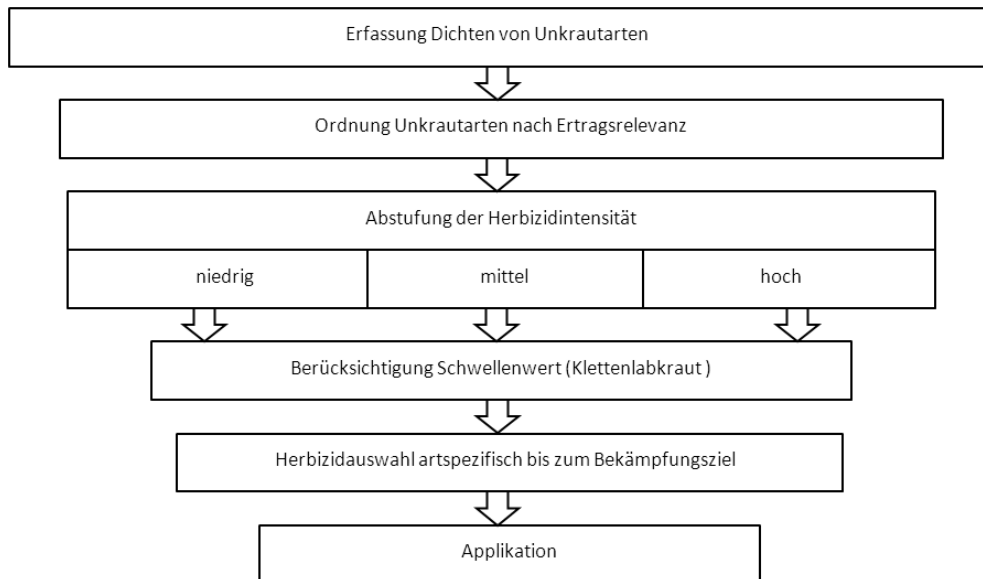


Abb. 2 Vorgehensweise bei der Anwendung der Heuristik im Versuch.

Fig. 2 The procedure of application the heuristic in the experiment.

Die Fruchtfolgeversuche sind an den Standorten Rostock und Göttingen seit 2008 bzw. 2009 angelegt. Es werden Fruchtarten angebaut, die als Energiepflanzen eingesetzt werden können. Jede Kultur wird in jedem Jahr angebaut, d. h. es sind echte Fruchtfolgeversuche. An beiden Versuchsstandorten sind die Fruchtarten Mais, Winterraps und Winterweizen in vier verschiedenen Fruchtfolgen so kombiniert, dass agronomische geeignete Anbaufolgen mit phytomedizinisch unterschiedlichen Risiken entstehen. Die Fruchtfolgen (1) Maismonokultur, (2) Winterraps-Winterweizen, (3) Winterraps-Mais-Winterweizen, (4) Winterraps-Winterweizen-Mais-Winterweizen werden untersucht. Die Versuche sind im Split-Plot-Design angelegt, d. h. die Fruchtfolgen liegen im Split und innerhalb darin sind die verschiedenen Behandlungsvarianten mit Herbiziden im Plot angelegt. Weitere Angaben zu den Versuchen und Standorten finden sich bei FLUCKE *et al.* (2014).

In Abbildung 2 ist die beschriebene Heuristik für das Vorgehen bei der Herbizidauswahl in den Behandlungsvarianten des Versuchs dargestellt.

Basis für die Entscheidungen sind die Dichten der erfassten Unkräuter und -gräser. Diese werden vor jeder Herbizidapplikation im Herbst und im Frühjahr bestimmt. Die Kultur befindet sich bei der Erfassung stets in einem günstigen Entwicklungsstand für eine eventuelle Herbizidapplikation. Die Aufnahmen erfolgen mit Hilfe eines „Göttinger Zähl- und Schätzrahmens“ von 0,1 m² Größe an zehn zufällig in der Parzelle (Göttingen - 8 m * 7,5 m, Rostock - 6 m * 6 m) verteilten Messwertwiederholungen.

Der Einsatz an Herbiziden wird in drei verschiedenen Herbizidintensitäten (niedrig, mittel und hoch) festgelegt – diese sind die Bekämpfungsziele in der beschriebenen Heuristik. Eine hohe Herbizidintensität hat das Bekämpfungsziel von 100 %, eine mittlere von 85 % und eine niedrige von 60 %.

Ergebnisse

Im Folgenden wird die beschriebene Heuristik beispielhaft auf drei Winterweizenversuchsglieder der Anbauperiode 2012/13 angewendet. Tabelle 1 stellt die Ergebnisse für die drei Bekämpfungsziele 100 %, 85 % und 60 % dar.

Tab. 1 Anwendungen der Heuristik bei unterschiedlichen Herbizidintensitäten [a] hoch, b) mittel, c) niedrig] im Winterweizen. Bezeichnungen von Unkrautarten bzw. Gattungen folgen dem EPPO-Code. (Bekämpfungsziel = BZ, **fett** = Arten, die für Herbizidintensität a), b), c) zu bekämpfen sind).

Tab. 1 Application example of heuristic with different herbicide intensities [a] high, b) medium, c) low] in winter wheat. Weed species respectively weed genera are given by EPPO-codes. (control target = BZ, **bold** = species, which control in herbicide intensity a), b), c)).

Unkrautart	Pflanzen/m ²	Verlustfaktor	Verlust/Art	kumulierter Verlust	kumulierter Gesamtverlust	
a)						
GALAP	6,3	1,50000	9,4500	9,4500	67,9	
STEME	14,8	0,23787	3,5205	12,9705	93,2	
VIOAR	4,8	0,10572	0,5075	13,4780	96,8	
MATSS	1,8	0,15858	0,2854	13,7634	98,9	
PAPRH	1,8	0,07048	0,1268	13,8902	99,9	
VERSS	0,3	0,07048	0,0211	13,9113	100,0	BZ 100 %
b)						
GALAP	8,5	1,50000	12,750	12,7500	81,7	BZ 85 %
STEME	7,5	0,23787	1,7840	14,5340	93,2	
VERSS	8,0	0,07048	0,5638	15,0978	96,8	
PAPRH	4,5	0,07048	0,3171	15,4149	98,8	
VIOAR	1,0	0,10572	0,1057	15,5206	99,5	
MATSS	0,5	0,15858	0,0793	15,5999	100,0	
c)						
GALAP	6,8	1,50000	10,2000	10,2000	75,2	BZ 60 %
STEME	9,8	0,23787	2,3311	12,5311	92,4	
VIOAR	4,0	0,10572	0,4228	12,9539	95,5	
PAPRH	5,0	0,07048	0,3524	13,3063	98,1	
MATSS	1,5	0,15858	0,2378	13,5441	99,8	
VERSS	0,3	0,07048	0,0211	13,5652	100,0	

Die hohe Herbizidintensität (Tab. 1a) strebt ein Bekämpfungsziel von 100 % an. Dadurch wird eine Bekämpfung der Unkrautarten Klettenlabkraut (*Galium aparine*), Vogelmiere (*Stellaria media*), Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*), Kamillearten (*Matricaria spp.*), Klatschmohn (*Papaver rhoeas*) und Ehrenpreisarten (*Veronica spp.*) notwendig. Mit 93,2 % wird der höchste Anteil des kumulierten Gesamtverlusts durch Klettenlabkraut und Vogelmiere verursacht (Tab. 1a).

Die mittlere Herbizidintensität erfordert eine Bekämpfung der Unkrautarten Klettenlabkraut und Vogelmiere, um somit ein Bekämpfungsziel von 85 % zu erreichen. Klettenlabkraut besitzt in der mittleren Herbizidintensität mit 81,7 % den höchsten Relativanteil am kumulierten Gesamtverlust (Tab. 1b).

In der niedrigen Herbizidintensität ist das Klettenlabkraut das einzige Unkraut, dass aufgrund des Bekämpfungsziels von 60 % und einem zusätzlichen Schwellenwert von 0,1 Pflanzen/m² bekämpft werden muss (Tab. 1c).

Die konkrete Auswahl der Herbizide richtet sich nach den Bekämpfungszielen der verschiedenen Herbizidintensitäten. Bei der hohen Herbizidintensität (Tab. 1a) wurde aufgrund vieler zu bekämpfender Unkrautarten die Wirkstoffe Pyroxulam, Florasulam und Cloquintocet-mexyl eingesetzt. Die Wirkstoffe Fluroxypyr und Florasulam kamen bei der mittleren Herbizidintensität zum Einsatz (Tab. 1b). In der niedrigsten Herbizidintensität wurde das Klettenlabkraut mit Florasulam bekämpft (Tab. 1c).

Um die mit Hilfe der Heuristik abgeleiteten Herbizideinsätze zusammenfassend zu beurteilen, können Wirkstoffhäufigkeiten, die durch die Herbizidtaktiken entstehen, genutzt werden. Die Wirkstoffhäufigkeit ist die Anzahl eingesetzter Wirkstoffe unabhängig von den Herbiziden. Tabelle 2 enthält die Wirkstoffhäufigkeiten aller eingesetzten Herbizide (Herbst-/Frühjahrsbehandlungen) in den verschiedenen Herbizidintensitäten im frühen und späten Winterweizen (WWf und WWs) am Versuchsstandort Rostock und Göttingen (Anbauperiode 2012/13).

Mit Hilfe der Heuristik waren an beiden Versuchsstandorten die Wirkstoffhäufigkeiten in den Herbizidintensitäten von hoch zu niedrig abgestuft. Auffallend ist eine höhere Wirkstoffhäufigkeit am Standort Rostock sowie im früh gesäten Winterweizen an beiden Standorten. Diese Häufigkeit der angewendeten Wirkstoffe resultiert aus einer zusätzlichen Herbstbehandlung.

Tab. 2 Wirkstoffhäufigkeiten in den Herbizidintensitäten (hoch, mittel und niedrig) im früh und spät gesäten Winterweizen an den Standorten Göttingen und Rostock (Anbauperiode 2012/13). WWf = früh gesäter Winterweizen, WWs = spät gesäter Winterweizen.

Tab. 2 Frequency of active ingredients of the herbicide intensities (high, medium and low) in early and late sown winter wheat at the trial locations Göttingen and Rostock (cropping period 2012/13). WWf = early sown winter wheat, WWs = late sown winter wheat.

Standort	Kultur	Herbizidintensität		
		hoch	mittel	niedrig
Rostock	WWf	12	8	7
	WWs	6	4	2
Σ Wirkstoffe Rostock		18	12	9
Göttingen	WWf	10	6	4
	WWs	6	4	2
Σ Wirkstoffe Göttingen		16	10	6
Σ Wirkstoffe gesamt		34	22	15

Diskussion

Ausgangspunkt für diesen Beitrag sind Versuche, in denen der Einfluss von Fruchtfolgen sowohl auf die Verunkrautung als auch auf den für deren Bekämpfung angemessenen Herbizideinsatz untersucht wird. Da die Fruchtfolge im Zeitablauf die Verunkrautung verändert, muss hierauf in

den konkreten Herbizidentscheidungen flexibel reagiert werden. Im Versuch werden die Herbizidstrategien mit Hilfe von drei Bekämpfungszielen variiert.

Die hier vorgestellte Heuristik mussten wir entwickeln, weil wir auf keine vergleichbare, erläuterte Entscheidungsregel zum flexiblen Herbizideinsatz in der Literatur zurückgreifen können.

PALLUTT und MOLL (2008) beschreiben einen Versuch mit zwei Fruchtfolgen, in dem der Herbizideinsatz in zwei Taktiken variiert wird. Die Herbizidtaktik erfolgt in einer Variante durch eine situationsbezogene Dosierung und Mittelwahl, d. h. die Herbizide werden flexibel eingesetzt. In der anderen Variante wird diese Taktik nach einem festen Muster variiert, in dem jeweils 50 % der Aufwandmenge eingesetzt werden. Die Herbizidtaktiken bei PALLUTT und MOLL (2008) werden also nicht durch ein quantifiziertes Bekämpfungsziel bestimmt, sondern sind „situationsbezogen“ und „halbe Aufwandmenge von situationsbezogen“. PALLUTT und MOLL (2008) können in diesem Fruchtfolgeversuch die Wirkung der eingesetzten Herbizide auf die Verunkrautung untersuchen, nicht vice versa.

Um diese Wirkung auch vice versa untersuchen zu können, setzen wir die Heuristik ein. Ausgangspunkt ist immer die Kenntnis der aktuellen Verunkrautung. Die für die Gewichtung der Ertragsrelevanz verschiedener Unkrautarten genutzten Verlustfaktoren entstammen zwar einem nicht-linearen Modellansatz (WERNER *et al.*, 2004) für die Prognose von Ertragsverlusten durch Unkräuter, werden aber hier wie in einem linearen Ansatz genutzt. Insofern erfolgt keine biologisch relevante Prognose der unkrautbedingten Verluste. Vielmehr ermöglichen es die Verlustfaktoren, die Unkrautarten nach ihren Schadpotenzialen zu rangieren und diese Rangierung für den Abgleich mit dem Bekämpfungsziel in den verschiedenen Herbizidintensitäten zu nutzen. Versuchsglieder, deren flexible Herbizidtaktik „keine Bekämpfung“ lautet, sind möglich - allerdings nur bei den Bekämpfungszielen 85 % und 60 %.

Die Variation des Bekämpfungsziels durch einen Wirkungsgrad gegenüber der gesamten gemessenen Verunkrautung erfolgt in der vorgestellten Heuristik in der Form, dass für häufige oder wichtige Arten eine volle Wirkung anvisiert wird, während für andere möglichst keine Wirkung gewünscht ist. Prinzipiell wäre auch eine Intensitätsreduktion möglich, in dem für alle Arten leicht verringerte Wirkungen anvisiert werden. Dafür müssten allerdings für alle eingesetzten Handelspräparate Informationen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung vorliegen. Dies ist in Deutschland nicht der Fall. Aus diesem Grund scheidet diese zweite Möglichkeit einer reproduzierbaren flexiblen Intensitätsreduktion in Feldversuchen aus. Das gewählte Vorgehen wird zudem voraussichtlich stärker in die Artenzusammensetzung in den Versuchsgliedern eingreifen. Wenig häufige Arten mit niedrigerer Verlustrelevanz können sich zu Lasten von häufigen mit hoher Verlustrelevanz so lange etablieren, bis sie ihrerseits die Herbizidwahl bestimmen.

Für den Schritt von den jeweils zu bekämpfenden Unkrautarten in den Herbizidintensitäten zu einer konkreten Herbizidentscheidung werden Wirkungsspektrum und Wirkungsgrade von Handelspräparaten berücksichtigt. Die HerbizidAuswahl ist dabei nicht immer eindeutig vorgegeben, da sich viele Herbizide in den genannten Kriterien decken. Zusätzliche Schwierigkeiten entstehen durch Wirkstoffkombinationen.

Wir nutzen hier die Anzahl eingesetzter Wirkstoffe um die Ergebnisse der Herbizidentscheidungen zusammenfassend darzustellen. Als alleiniges Merkmal erscheint die Wirkstoffhäufigkeit für die deskriptive Analyse der Herbizidentscheidungen noch nicht ausreichend. Weitere Wege zur Kontrolle und Ergebnisdarstellung von Entscheidungen nach der Heuristik werden geprüft (z.B. Behandlungsindex, Kosten). Die entwickelte Heuristik wird außerdem für Raps und Mais, als den weiteren Versuchsfeldfrüchten, weiterentwickelt. Für Raps werden Verlustrelevanzen ebenfalls bei WERNER *et al.* (2004) entnommen, für Mais müssen Werte aus verschiedenen Quellen zusammengestellt werden.

Untersuchungen von MACÉ *et al.* (2007) zeigen, dass Landwirte bei der Unkrautbekämpfung unterschiedliche Ziele in verschiedenen Zeithorizonten (taktisch, strategisch und operational)

verfolgen. Durch Kombination und Zusammenwirken von strategischen und taktischen Maßnahmen kann eine optimale Unkrautbekämpfung erreicht werden (TORRA *et al.*, 2008). Ziel unserer Feldversuche ist es, strategische und taktische Entscheidungen zur Unkrautbekämpfung in ihrem Zusammenwirken beurteilen zu können. In diesem Beitrag ist die Heuristik beispielhaft für ein Anbaujahr des Winterweizens beschrieben, um sie in dem Fruchtfolgeversuch anzuwenden. Dazu werden entsprechende Heuristiken auch für Mais und Raps entwickelt und eingesetzt. Im Weiteren stehen vier Fruchtfolgen, in denen jeweils drei Herbizidintensitäten umgesetzt werden, an den zwei Standorten zur Verfügung. In den Versuchsgliedern verändert sich sukzessive die Verunkrautung und darauf aufbauend die mit Hilfe der Heuristik abgeleitete konkrete Herbizidtaktik. Unsere Auswertungen werden klären, zu welchen Anteilen Fruchtfolgen und Herbizidstrategien die Herbizidtaktiken über die Zeit bestimmen und wie diese Taktiken gestaltet sind. Es versteht sich von selbst, dass die Entwicklung der Unkrautbestände Co-Variable in diesem Prozess sein muss.

Literatur

- ANDERSON, R. L., 1999: Cultural Strategies Reduce Weed Densities in Summer Annual Crops. *Weed Technol.* **13**, 314-319.
- BUHLER, D. D., 2003: Weed Biology, Cropping Systems, and Weed Management. *J. Crop Prod.* **8** (1-2), 245-270.
- BÜRGER, J., A. GÜNTHER, F. DE MOL und B. GEROWITT, 2012: Analysing the influence of crop management on pesticide use intensity while controlling for external sources of variability with Linear Mixed Effects Models. *Agr. Syst.* **111**, 13-22.
- CHIKOWO, R., V. FALOYA, S. PETIT, und N. M. MUNIER-JOLAIN, 2009: Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agric. Ecosyst. Environ.* **132**, 237-242.
- FLUCKE, C., F. DE MOL und B. GEROWITT, 2014: Zum Einfluss der Fruchtfolge auf die Abundanzen künstlich etablierter Unkrautarten in zwei Feldversuchen. *Julius-Kühn-Archiv* **443**.
- FORTINO, G., L. GUICHARD, E. LÖ-PELZER, R. REAU, M. VALANTIN-MORISON, X. PINOCHET und N. M. MUNIER-JOLAIN, 2010: Redesigning cropping systems in three French regions. From Science to field, Winter Crops Based Cropping Systems (WCCS) Case Study – Guide Number 2, ENDURE diversity crop protection, European Commission's Sixth Framework Programme.
- GEROWITT, B., 1992: Dreijährige Versuche zur Anwendung eines computergestützten Entscheidungsmodells zur Unkrautbekämpfung nach Schadensschwellen im Winterweizen. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XIII*, 301-310.
- MACÉ, K., P. MORLON, N. M. MUNIER-JOLAIN und L. QUÉRE, 2007: Time scales as a factor in decision-making by French farmers on weed management in annual crops. *Agr. Syst.* **93**, 115-142.
- PALLUTT, B. und E. MOLL, 2008: Langzeitwirkungen reduzierter Herbizidaufwandmengen auf Verunkrautung und Kornertrag von Wintergetreide in einem 12jährigen Dauerversuch. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XXI*, 501-508.
- STEINMANN, H.-H. und E. S. DOBERS, 2013: Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. *J. Plant Dis. Protect.*, **120** (2), 85-94.
- TORRA, J., J. L. GONZALEZ-ANDUJAR und J. RECASENS, 2008: Modelling the population dynamics of *Papaver rhoeas* under various weed management systems in a Mediterranean climate. *Weed Res.* **48**, 136-146.
- ULBER, L., H.-H. STEINMANN, S. KLIMEK und J. ISSELSTEIN, 2009: An on-farm approach to investigate the impact of diversified crop rotations on weed species richness and composition in winter wheat. *Weed Res.* **49**, 534-543.
- WERNER, B., F. DE MOL und B. GEROWITT, 2004: Schadprognosen und Bekämpfungsempfehlungen für Unkräuter in Raps und Getreide mit CeBrUs. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XIX*, 981-988.

Möglichkeiten der gezielten Nachauflaufbekämpfung von Unkräutern im Winterraps

Possibilities for a specific post-emergence weed control in winter oilseed rape

Bernhard Werner

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Hannover, Wunstorfer Landstraße 11, D-30453 Hannover
bernhard.werner@lwk-niedersachsen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.084

Zusammenfassung

Die Möglichkeiten der gezielten Nachauflaufbekämpfung von Unkräutern im Winterraps wurden auf der Basis von 199 Feldversuchen aus den Jahren 2006 bis 2013 getestet. Die Artenzusammensetzung in den Versuchen entsprach typischen Rapsfruchtfolgen, wie sie auch von anderen Autoren beschrieben wird und kann für Niedersachsen als repräsentativ angesehen werden. *Geranium sp.* und *Sisymbrium officinale* als im Raps schwer bekämpfbare Arten, traten auf jeweils mehr als 20 % der Versuchsstandorte auf.

Die Mehrzahl der gefundenen Unkrautarten kann gezielt im Nachauflauf bekämpft werden. Dabei kann die Bekämpfung entweder als Spritzfolge mit der Applikation metazachlorhaltiger Herbizide im frühen Nachauflauf gefolgt von einer späteren zweiten differenzierten Behandlung oder als einmalige gezielte Nachauflaufapplikation mit Einzelherbiziden oder Herbizidmischungen erfolgen. Wichtige Bausteine für die gezielte Nachauflaufbekämpfung sind zurzeit die Herbizide: Effigo, Fox, Stomp aqua und Runway. Die erwartete Zulassung von Salsa würde die Möglichkeiten der gezielten Nachauflaufbekämpfung von typischen Rapsunkräutern weiter verbessern.

Stichwörter: Feldversuche, Herbizid, Nachauflauf, Unkrautbekämpfung, Winterraps, Wirksamkeit

Abstract

Possibilities for a specific post-emergence weed control in winter oilseed rape had been tested on the basis of 199 field trials carried out from 2006 until 2013. The weed infestation found in the trials was typical for crop rotations such as oilseed rape. Similar weed infestation have been described by other authors and seems to be representative for Lower Saxony. *Geranium sp.* and *Sisymbrium officinale* as difficult to control weed species have been found in more than 20% of the field trials.

Most of the weed species being found can be controlled by post-emergence herbicide application. Weed control measures can be carried out as a sequence of two separate applications, first application at early post-emergence with an herbicide including Metazachlor followed by a specific second application. A one-time application with only one herbicide or a herbicide tank-mixture is also possible. The most important herbicides for a specific post-emergence weed control are currently Effigo, Fox, Stomp aqua and Runway. The approval of Salsa is pending but would improve the options for a specific control of typical weeds in winter oilseed rape.

Keywords: Efficacy, field trial, herbicide, post-emergence, weed control, winter oilseed rape

Einleitung

Obwohl der Winterraps über ein hohes Potential zur Unkrautunterdrückung verfügt, ist eine zunehmende Intensivierung des Herbizideinsatzes in dieser Kultur zu verzeichnen. Ein wichtiger Grund für diese Entwicklung ist die Zunahme bzw. Ausbreitung von sogenannten Problemunkräutern, wie Kreuzblütlern, *Geranium sp.* und weiterer Arten (BROSCHWITZ *et al.*, 1998; SIEBERHEIN *et al.*, 2001; GOERKE *et al.* 2008), die im Raps schwer bekämpfbar sind.

Da lange Zeit wenige wirksame Nachauflaufherbizide im Raps zur Verfügung standen, wurden in den letzten Jahren insbesondere gegen Kreuzblütler clomazonehaltige Präparate im Voraufbau eingesetzt. Die Anwendung clomazonehaltiger Mittel ist inzwischen durch umfangreiche Anwendungsaufgaben (u. a. NT 127, NT 145, NT 146, NT 149, NT 151 bis 153) stark eingeschränkt worden. Auch metazachlorhaltige Mittel, die aufgrund von Neuzulassungen und Zulassungserweiterungen ebenfalls zunehmend im Voraufbau eingesetzt werden, stehen in der Kritik, da zumindest Metabolite des Wirkstoffes Metazachlor vermehrt im Grundwasser gefunden werden

(SCHRÖDER, 2013). Außerdem widerspricht eine generelle Voraufbauanwendung von Herbiziden dem Grundsatz der gezielten und bedarfsgerechten Unkrautbekämpfung, wie sie im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes zu erfolgen hat.

Aufgrund einiger Neuzulassungen von Raps herbiziden in den letzten Jahren und weiterer erwarteter Zulassungen stehen neue Möglichkeiten für eine gezielte Unkrautbekämpfung im Nachaufbau zur Verfügung. Auf der Basis mehrjähriger Versuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen soll geprüft werden, ob das Spektrum der wichtigsten Rapsunkräuter mit den nun zur Verfügung stehenden Herbiziden im gezielten Nachaufbau ausreichend bekämpft werden und angepasste Bekämpfungsstrategien abgeleitet werden können.

Material und Methoden

Datengrundlage für die Beurteilung der Wirksamkeit verschiedener Nachaufbauherbizide im Winterraps sind insgesamt 199 Feldversuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen aus den Jahren 2005/06 bis 2012/13. Die Anlage der Versuche in Streulage erfolgte als randomisierte Blockanlage mit jeweils 4 Wiederholungen. Die Bonituren erfolgten nach der EPP0-Richtlinie PP 1/49(2). Eine Beerntung der Versuche wurde nur in Ausnahmefällen vorgenommen. Die vorliegende Auswertung erfolgte als *ex post* Analyse von Versuchen, die über die Jahre unter verschiedenen Fragestellungen zur Wirksamkeit von Raps herbiziden angelegt worden waren. Zur Anwendung kamen Vor- und Nachaufbauverfahren, Spritzfolgen und Tankmischungen. Die in die Betrachtung einbezogenen Herbizide und ihre Wirkstoffgehalte zeigt Tabelle 1.

Tab. 1 Übersicht der geprüften Herbizide mit Wirkstoffkonzentrationen.

Tab. 1 *Tested herbicides and their active ingredients.*

Handels- bezeichnung	1. Wirkstoff	(g/l)	2. Wirkstoff	(g/l)	3. Wirkstoff	(g/l)
Butisan	Metazachlor	(500)				
Butisan Gold	Metazachlor	(200)	Dimethenamid-P	(200)	Quinmerac	(100)
Butisan Kombi	Metazachlor	(200)	Dimethenamid-P	(200)		
Butisan Top	Metazachlor	(375)	Quinmerac	(125)		
Clearfield-Vantiga (6,25)	Metazachlor	(375)	Quinmerac	(125)	Imazamox	
Centium CS	Clomazone	(360)				
Colzor Trio (187,5)	Clomazone	(30)	Dimethachlor	(187,5)	Napropamid	
Effigo	Clopyralid	(267)	Picloram	(67)		
Fox	Bifenox	(480)				
Fuego	Metazachlor	(500)				
Fuego Top	Metazachlor	(375)	Quinmerac	(125)		
Quantum	Pethoxamid	(600)				
Salsa*	Ethametsulfuron-Methyl	(75%)				
Runway	Aminopyralid	(40)	Clopyralid	(240)	Picloram	(80)
Stomp Aqua	Pendimethalin	(455)				

* zurzeit nicht in Deutschland zugelassen

Aufgrund der Heterogenität der Daten aus den nicht orthogonalen Streuversuchen erfolgt eine vergleichende Betrachtung der Wirksamkeit der einzelnen Bekämpfungsverfahren auf der Basis ihrer mittleren Wirkungsgrade und der Wirkungssicherheit auf der Basis der Standardabweichungen der einzelnen Verfahren. Dargestellt sind die Ergebnisse der Wirkungsbonituren nach Vegetationsbeginn im Frühjahr. Erfasst wurden alle dikotylen Unkrautarten, eine Rangfolge

wurde auf der Basis der relativen Häufigkeit ihres Auftretens bezogen auf die Gesamtheit aller Versuchsstandorte aufgestellt.

Ergebnisse

Die folgenden Auswertungen wurden auf der Basis von 199 Feldversuchen gemacht. Beteiligte Versuchsansteller waren die 11 Bezirksstellen und das Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Im ersten Schritt wurde das Unkrautspektrum in den Versuchen geprüft, um daraus ableiten zu können, welche Arten in einem bekämpfungswürdigen Umfang auftraten.

Tabelle 2 zeigt die relative Häufigkeit (Stetigkeit) der bonitierten Arten. Die einzelnen Arten wurden teilweise zu Gruppen zusammengefasst. Die häufigsten Arten waren *Matricaria sp.*, *Viola arvensis*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media* und *Myosotis arvensis*. *Sisymbrium officinale* und *Geranium sp.* traten mit einer Stetigkeit von jeweils 20,6 % ebenfalls relativ häufig auf. Zu berücksichtigen ist hier, dass die Standorte für eine Wirkungsprüfung häufig aufgrund des Auftretens bestimmter Unkrautarten gezielt ausgesucht wurden. Das Auftreten von *Thlaspi arvense* und *Galium aparine* war mit einer Stetigkeit von jeweils 12,1 % relativ gering. Traten Unkrautarten auf weniger als 10 % der Standorte auf, ergab sich häufig ein nicht ausreichender Stichprobenumfang für die folgende Beurteilung der Wirksamkeit einzelner Bekämpfungsverfahren.

Tab. 2 Auftreten dikotyler Unkrautarten in 199 Feldversuchen (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2006 bis 2013) und die relative Häufigkeit (%) ihres Auftretens.

Tab. 2 List of weed species found in 199 field trails (Agricultural Chamber Lower Saxony 2006 – 2013) and their relative frequency of occurrence (%).

Unkrautart		relative Häufigkeit
<i>Matricaria sp.</i>	(MATSS)	65,8
<i>Viola arvensis</i>	(VIOAR)	64,3
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	(CAPBP)	40,7
<i>Stellaria media</i>	(STEME)	40,2
<i>Myosotis arvensis</i>	(MYOAR)	31,7
<i>Sisymbrium officinale</i> (SISOF)		20,6
<i>Geranium sp.</i>	(GERSS)	20,6
<i>Thlaspi arvense</i>	(THLAR)	12,1
<i>Galium aparine</i>	(GALAP)	12,1
<i>Chenopodium album</i> (CHEAL)		9,0
<i>Lamium purpureum</i>	(LAMPU)	8,0
<i>Veronica sp.</i>	(VERSS)	7,5
<i>Papaver rhoeas</i>	(PAPRH)	6,5
<i>Polygonum sp.</i>	(POLSS)	5,0
<i>Fumaria sp.</i>	(FUMSS)	3,5
<i>Anthriscus caucalis</i>	(ANRCA)	2,5
<i>Atriplex sp.</i> (ATXSS)		2,5
<i>Senecio vulgaris</i>	(SENVU)	2,0
<i>Solanum nigrum</i>	(SOLNI)	2,0
<i>Centaurea cyanus</i>	(CENCY)	1,5
<i>Urtica urens</i>	(URTUR)	1,5
<i>Galeopsis tetrahit</i>	(GAETE)	1,0
<i>Aphanes arvensis</i>	(APHAR)	0,5
<i>Barbarea vulgaris</i>	(BARVU)	0,5
<i>Galinsoga ciliata</i>	(GASCI)	0,5

In einem zweiten Schritt sollte die eigentliche Fragestellung, ob für die Bekämpfung des aufgezeigten Unkrautspektrums ausreichend wirksame Bekämpfungsverfahren für eine gezielte

Nachauflaufanwendung zur Verfügung stehen, bearbeitet werden. In den folgenden drei Tabellen wird der gemittelte Wirkungsgrad inkl. der Standardabweichung verschiedener Herbizidkombinationen gegenüber den am häufigsten aufgetretenen Unkrautarten dargestellt. Lagen für die Wirkungsbeurteilung einer Mittelkombination gegenüber einer Unkrautart weniger als drei Standorte vor, wird in der jeweiligen Tabelle kein Ergebnis dargestellt.

Tab. 3 Wirksamkeit (%) verschiedener Herbizide und Herbizidkombinationen im Vor- und Nachauflauf.

Tab. 3 Efficacy (%) of different herbicides and herbicide combinations at pre- and post-emergence application.

Termin	VA	VA	VA	NAK	VA	NAK	BBCH 9-10	BBCH 11-12	BBCH 13-14
Mittel		Butisan Kombi+	Fuego Top	Fuego Top (Butisan Top)	Butisan Gold	Butisan Gold	Clearfield+ (Dash)	Clearfield+ Dash	Clearfield+ Dash
Unkrautart	Aufwandmenge l/ha	2,0-2,5+ 0,2-0,25 l/ha	1,5-2,0 l/ha	1,5-2,0 l/ha	2,0-2,5 l/ha	2,0-2,5 l/ha	2,0-2,5+ (1,0) l/ha	2,0+1,0 l/ha	2,0+1,0 l/ha
VIOAR	MW 47,3 s 30,1 n 75	50,3 26,3 30	50,7 25,8 11	42,4 27,4 65	47,4 28,5 37	46,2 31,9 45	65,7 30,8 8	63,6 28,0 10	38,1 25,0 7
MATSS	MW 94,3 s 11,5 n 75	97,2 5,2 29	99,1 1,1 11	94,0 13,8 63	95,9 9,9 41	92,1 18,3 46	97,1 7,4 9	91,1 22,8 11	72,3 35,8 8
STEME	MW 98,8 s 4,8 n 41	99,1 2,8 20	92,6 8,0 7	86,6 19,1 40	95,1 10,4 23	93,0 13,3 24	99,3 0,7 7	95,4 7,5 9	85,5 21,6 7
MYOAR	MW 84,5 s 26,9 n 34	97,0 7,2 16	97,4 2,7 4	89,7 13,1 26	97,4 5,5 22	97,9 4,3 22	98,0 4,1 6	99,6 0,9 7	85,9 12,5 5
GALAP	MW 89,5 s 19,4 n 9	97,3 3,9 3	96,7 3,4 3	86,2 21,3 11	99,4 1,2 5			99,8 0,4 3	
GERSS	MW 77,1 s 21,8 n 19	85,1 18,4 8	80,6 7,4 3	34,3 35,2 17	85,9 16,8 13	71,5 28,1 14			
VERSS	MW 64,9 s 37,6 n 4			88,1 26,3 7					
LAMSS	MW 78,9 s 37,1 n 8	99,7 0,5 3	74,7 35,1 3	96,9 6,9 7	99,7 0,4 5		99,7 0,5 3		
PAPRH	MW 88,0 s 10,0 n 8	74,6 27,5 3		79,2 23,8 6	82,4 19,5 3	92,3 7,1 4			
ANRCA	MW s n				86,5 2,9 3				
SSYOF	MW 91,3 s 22,0 n 18	99,1 0,9 8	36,3 28,9 4	34,6 19,3 16	46,7 23,9 17	34,1 22,1 14	92,8 6,0 3	98,4 0,4 3	
CAPBP	MW 96,5 s 7,8 n 40	97,7 2,3 18	92,8 12,4 7	78,1 24,4 29	88,5 19,3 27	81,5 24,2 23	99,4 0,4 6	88,0 22,3 8	97,6 2,8 6
THLAR	MW 86,0 s 14,3 n 6			68,9 36,0 8	67,0 41,3 3				

MW = Mittelwert; s = Standardabweichung, n = Anzahl, VA = Vorauflauf; NAK = Nachauflauf Keimblatt

Tabelle 3 zeigt den direkten Wirkungsvergleich von den Vor- und Nachauflaufverfahren. Mit Colzor Trio und Butisan Kombi + Centium CS wurden zwei breitwirksame Vorauflaufverfahren als vergleichende Standards in die Auswertung einbezogen. Beide Verfahren zeigen die erwartete breite Wirkung jeweils mit einer deutlichen Wirkungsschwäche bei *V. arvensis*. Da Fuego Top und

Butisan Gold als metazachlorhaltige Mittel sowohl eine Vorauf- als auch eine Nachaufzulassung haben, werden sie vergleichend für beide Anwendungstermine dargestellt. Butisan Gold zeigt eine breitere Wirkung als Fuego Top (im Nachauf- als auch Butisan Top) mit besseren Wirkungen gegenüber *Geranium sp.* und *Papaver rhoeas*. Wirkungslücken bestehen bei *V. arvensis* und *S. officinale*. Geringere Wirkungsgrade als bei der Voraufanwendung sind gegenüber mehreren Unkrautarten bei beiden Mitteln in der Nachaufanwendung zu beobachten. Für Clearfield-Vantiga standen Daten aus drei Nachauf-Behandlungsterminen zur Verfügung. Bei den bonitierbaren Unkrautarten zeigt Clearfield-Vantiga durchweg hohe Wirkungsgrade von 88 % bis über 90 %. Eine deutlich geringere Wirkung erzielt das Mittel in der späten Anwendung zu BBCH 13-14. Gegenüber *V. arvensis* erzielt auch Clearfield-Vantiga geringe Wirkungsgrade unter 70 %.

Mit jeweils mindestens einem der bisher gezeigten Nachaufverfahren wird gegenüber der Mehrzahl der Unkrautarten ein Wirkungsgrad von über 90 % erzielt. Unter 90 % Wirkung werden im Nachauf gegenüber *V. arvensis*, *Geranium sp.*, *Antriscus caucalis* und *T. arvense* erreicht, wobei für die drei letztgenannten Arten nur wenige auswertbare Daten zur Verfügung standen.

Tab. 4 Wirksamkeit (%) verschiedener Herbizide und Herbizidspritzfolgen im Nachauf.

Tab. 4 Efficacy (%) of different herbicides and herbicide sequences at post-emergence application.

Termin	NAK	NAK/NAH	NAK/NAH	NAK/NAH	NAK/NAH	NAK/NAH	NAK/NAH	NAK/NAH	NAK/NAH	NAK/NAH
Mittel	Fuego (Butisan)	Fuego/Fox	Fuego/Effigo	Fuego/Runway	Fuego/Salsa+FHS	Fuego/Stomp Aqua	Fuego/Fox+Effigo	Butisan G./Runway	Butisan G./Salsa+FHS	
Unkrautart	Aufwandmenge l/ha	0,8-1,5/0,4-0,75 l/ha	0,8-1,25/0,35 l/ha	0,8-1,5/0,2 l/ha	0,8-1,5/0,025+0,3 l/ha	1,25/1,5 l/ha	0,8-1,25/0,3-0,7+0,35 l/ha	2,0/0,2 l/ha	2,0-2,5/0,025+0,3 l/ha	
VIOAR	MW	37,3	84,8	45,5	89,4	48,2	51,1	84,9	80,4	51,9
	s	31,3	20,4	29,0	13,9	20,2	27,9	19,9	17,9	22,5
	n	20	31	15	6	6	9	29	4	8
MATSS	MW	90,9	94,9	98,9	99,0	96,9	98,4	98,9	99,3	95,1
	s	16,7	8,8	1,8	1,6	6,7	3,5	1,8	0,7	8,1
	n	21	29	13	9	7	7	28	7	9
STEME	MW	76,8	91,6	90,8	88,3	98,6	98,6	92,7	98,6	100,0
	s	29,6	15,0	17,5	8,6	1,5	1,9	10,6	2,5	0,0
	n	14	23	10	3	4	8	20	5	6
MYOAR	MW	58,4	95,7	97,7	99,8	95,3	99,5	98,4	98,5	
	s	32,2	9,5	3,3	0,4	3,2	0,5	2,9	1,9	
	n	7	14	4	5	5	4	12	3	
GALAP	MW	48,5	73,6	55,6				71,1		
	s	24,8	21,3	19,3				21,3		
	n	5	5	3				4		
GERSS	MW	17,2	60,5					75,2		
	s	24,6	34,3					34,2		
	n	7	5					6		
VERSS	MW	80,8						98,2		
	s	24,5						2,6		
	n	3						3		
SSYOF	MW	23,6	77,1	24,2	27,6	86,9		78,4	56,6	98,3
	s	16,6	30,4	17,8	18,7	7,7		27,2	34,5	2,0
	n	7	13	3	4	5		12	4	4
CAPBP	MW	68,5	86,2	86,8	65,4	90,9	75,9	89,5	80,8	99,4
	s	32,7	20,1	12,8	23,4	9,7	21,7	14,0	4,2	0,9
	n	11	17	7	5	6	5	16	4	5
THLAR	MW	35,6	54,2							
	s	36,4	34,3							
	n	4	3							

MW = Mittelwert; s = Standardabweichung, n = Anzahl, NAK = Nachauf Keimblatt; NAH = Nachauf Herbst

Tabelle 4 zeigt die Wirkungsgrade verschiedener Spritzfolgen jeweils mit einer Vorlage von Fuego oder Butisan Gold im frühen Nachauflauf und vergleichend die Soloanwendung von Fuego (Butisan) im frühen Nachauflauf. Die Vorlage von Fuego (Butisan) zeigt Teilwirkungen gegenüber allen aufgeführten Unkrautarten, aber nur gegenüber *Matricaria sp.* Wirkungsgrade über 90 %. Gegenüber *Matricaria sp.*, *S. media*, *M. arvensis* und *Veronica sp.* (nur zwei Kombinationen) werden von den verschiedenen Spritzfolgen durchweg hohe Wirkungsgrade von über 90 % erzielt. Gegenüber den Kruziferen *S. officinale* und *C. bursa-pastoris* erreichen nur die Kombinationen mit dem noch nicht zugelassenen Salsa Wirkungsgrade über 90 %. Gegenüber *V. arvensis* erreicht die Spritzfolge Fuego/Runway mit 89,4 % den höchsten Wirkungsgrad. Wirkungsgrade unter 90 % werden außerdem für *G. aparine*, *Geranium sp.* und *T. arvense* bei gleichzeitig geringerer Datendichte ausgewiesen.

Tab. 5 Wirksamkeit (%) verschiedener Herbizide und Herbizidkombinationen im Nachauflauf.

Tab. 5 Efficacy (%) of different herbicides and herbicide combinations at post-emergence application.

Termin	NAH	NAH	NAH	NAH	NAH	NAH	NAH	NAH	NAH	NAK
Mittel	Effigo	Runway	Salsa+FHS	Fox+ Effigo	Fox+ Runway	Runway+ Salsa+FHS	Effigo+ Salsa+FHS	Butisan Top +Salsa+FHS	Butisan Kombi+ Runway	
Unkraut- art	Auf- wand- menge	0,3-0,35 l/ha	0,2-0,3 l/ha	0,025+0,3 l/ha	0,4-0,7+ 0,25-0,35 l/ha	0,4-0,7+ 0,2-0,3 l/ha	0,2+ 0,025+0,3 l/ha	0,35+ 0,025+0,3 l/ha	2,0+ 0,025+0,3 l/ha	2,0-2,5+ 0,2-0,3 l/ha
VIOAR	MW s n	48,0 30,8 8	76,4 22,0 9	83,3 12,1 9	85,9 7,9 8	95,8 19,1 13	78,1 19,1 13	99,7 19,5 7	96,3 18,9 19	81,7 18,9 19
MATSS	MW s n	92,8 10,0 6	95,3 6,9 7	83,3 10,6 3	98,3 3,2 9	97,3 3,3 7	99,1 1,9 16	99,7 0,4 4	96,3 6,8 7	99,2 1,0 19
STEME	MW s n	12,8 9,9 4	29,1 41,5 4	39,3 36,3 9	31,3 33,6 4	97,8 3,3 9	98,3 2,5 4	98,0 1,8 5	96,3 5,7 11	96,3 5,7 11
MYOAR	MW s n	71,3 36,2 4	84,0 24,7 4	99,7 0,5 3	99,3 0,5 3	98,8 1,9 9	98,6 1,1 3	75,2 37,9 5	99,4 0,9 10	99,4 0,9 10
GALAP	MW s n	67,2 26,9 4								
GERSS	MW s n		28,9 27,9 3		41,7 29,5 3		92,3 8,2 6		99,1 0,3 3	92,7 5,8 5
PAPRH	MW s n									99,6 0,6 4
ANRCA	MW s n					91,0 6,0 3				
SSYOF	MW s n		19,4 12,4 4	88,3 9,6 3		93,3 8,0 8		88,6 11,8 5	28,3 23,7 5	28,3 23,7 5
CAPBP	MW s n		38,8 27,0 5		70,9 14,3 8	73,1 22,3 5	78,5 29,0 10		92,8 11,5 5	89,8 21,3 9

MW = Mittelwert; s = Standardabweichung, n = Anzahl, NAK = Nachauflauf Keimblatt; NAH = Nachauflauf Herbst

Abschließend werden in Tabelle 5 verschiedene Einfachanwendungen von Einzelherbiziden und Herbizidmischungen bezüglich ihrer Wirkung in der Nachauflaufanwendung betrachtet. Nur die Mischung Butisan Kombi + Runway wurde im frühen Nachauflauf eingesetzt, alle anderen Mittel

und Mittelkombinationen im späteren Nachauflauf entsprechend ihrer jeweiligen Zulassung zwischen BBCH 12 und 16.

Effigo und Runway erzielten im Soloeinsatz hohe Wirkungsgrade gegen *Matricaria sp.* Salsa konnte als Einzelpräparat nur gegenüber wenigen Arten geprüft werden, erbrachte aber Solo oder in Mischung mit Runway bzw. Effigo gegenüber den Kreuzifern *S. officinale* und *C. bursa-pastoris* hohe Wirkungsgrade. Insgesamt zeigte die Mischung Runway + Salsa eine sehr breite Wirkung mit durchweg über 90 % Wirkungsgrad außer gegenüber *V. arvensis* (78,1 %) und *C. bursa-pastoris* (78,5 %). Den höchsten Wirkungsgrad gegenüber *V. arvensis* erzielte Fox + Runway mit 95,8 %. Ebenfalls eine breite Wirkungsamplitude hat Butisan Kombi + Runway im frühen Nachauflauf mit einer Wirkungslücke gegenüber *S. officinale*.

Für die meisten der in den Versuchen häufig aufgetretenen Unkrautarten bzw. Artengruppen konnten mindestens eine, meist mehrere Herbizide oder Herbizidkombinationen in Mischung oder als Spritzfolge mit Wirkungsgraden von über 90 % gezeigt werden. Lediglich für *T. arvense* konnte aufgrund der geringen Datenlage kein hochwirksames Nachauflaufverfahren ausgewiesen werden.

Diskussion

Die Grundvoraussetzung, um die Frage über Möglichkeiten der gezielten Nachauflaufbekämpfung von Unkräutern im Winterraps beantworten zu können, ist die Kenntnis über die mögliche Art und Stärke der Verunkrautung. Die in die vorliegende Auswertung einbezogenen Feldversuche waren unter unterschiedlichen Fragestellungen zur Wirksamkeit von Raps herbiziden angelegt worden. Die dort vorgefundene Verunkrautung mit *Matricaria sp.*, *V. arvensis*, *C. bursa-pastoris*, *S. media* und *M. arvensis* als den fünf häufigsten Arten und weiteren typischen Vertretern einer klassischen Rapsfruchtfolge unterscheidet sich nicht wesentlich von Erhebungen anderer Autoren (SCHRÖDER *et al.*, 2008; GOERKE *et al.*, 2008). Ebenfalls besteht bei den gefundenen Arten eine fast hundertprozentige Übereinstimmung mit den in einer Expertenbefragung (WERNER und HEITFUSS, 1997) genannten im Raps bekämpfungsrelevanten Arten. Neben dem Ertragsausfall wurde insbesondere eine mögliche Erntebehinderung als wichtiges Kriterium für die Bekämpfungsrelevanz genannt. Erntebehinderungen können insbesondere alle Arten verursachen, die den Rapsbestand überwachsen können. Nach Einschätzung verschiedener Autoren (BROSCHWITZ *et al.*, 1998; SIEBERHEIN *et al.*, 2001; GOERKE *et al.*, 2008) nehmen diese als Problemunkräuter bezeichneten Arten zu. Die Ursachen für die Verschiebung im Artenspektrum können vielfältig sein. Neben dem Einfluss der Bodenbearbeitung (WERNER, 1999; HANZLIK und GEROWITT, 2010), der Fruchtfolge und anderer pflanzenbaulicher Maßnahmen kann auch der Klimawandel (PETERS und GEROWITT, 2011) bestimmte Arten wie z.B. *Geranium sp.*, *Sisymbrium sp.* oder *P. rhoeas* fördern: Weitere häufig genannte Problemunkräuter sind z.B. *Anchusa sp.*, *Centaurea cyanus* und *Barbarea vulgaris*. HANZLIK und GEROWITT (2012) bestätigten in einem dreijährigen bundesweiten Unkrautmonitoring, dass das Auftreten einzelner Unkrautarten regional unterschiedlich ist.

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass inzwischen ein breites Spektrum an wirksamen Nachauflaufherbiziden für eine gezielte Unkrautbekämpfung im Raps zur Verfügung steht. Das in den vorliegenden Versuchen für Niedersachsen repräsentative Unkrautspektrum kann fast ausnahmslos im Nachauflauf bekämpft werden. Dieses Ziel kann entweder in Spritzfolgen oder teilweise auch durch Einfachbehandlungen erreicht werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass sowohl metazachlorhaltige Herbizide inkl. Clearfield-Vantiga als auch das noch nicht zugelassene Salsa in die Auswertung einbezogen wurden. Clearfield-Vantiga erweitert das Angebot breit wirksamer Nachauflaufherbizide und bietet insbesondere bei der Bekämpfung von Kreuzifern Vorteile. Da es aber als ein komplettes System an die Aussaat von herbizidtolerantem Raps gekoppelt ist, der in Folgekulturen wiederum schwer zu bekämpfen ist, wird seine Anwendung sehr kritisch diskutiert (WOLBER und NIEHOFF, 2012; PETERSEN, 2013). Die für Niedersachsen

aufgezeigte Artenzusammensetzung könnte auch ohne das Clearfieldsystem im Nachauflauf gut bekämpft werden.

Eine deutliche Verbesserung für die Bekämpfbarkeit von Unkräutern im Nachauflauf würde die Zulassung von Salsa bringen. Salsa verfügt bei einer guten Mischbarkeit mit anderen Raps herbiziden ebenfalls über eine breite Wirkung bzw. Wirkungsergänzung, unter anderem gegen Kruziferen und *Geranium sp.* Allerdings gehört Salsa als Sulfonylharnstoff zu der Gruppe der resistenzgefährdeten ALS-Hemmer, habe aber nach Aussage von DROBNY und SCHLANG (2012) praktisch keine Wirkung gegenüber den im Resistenzmanagement wichtigen Ungrasarten *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* und erhöhe somit auch nicht den Selektionsdruck.

Bei einem Verzicht auf clomazonehaltige und andere Voraufbauherbizide sowie auf Clearfield-Vantiga für den Nachauflauf und bei einer Nichtzulassung von Salsa bestehen in der aktuellen Zulassungssituation mit z. B. Runway, Effigo, Fox, Stomp Aqua und den metazachlorhaltigen Herbiziden immer noch wirksame Alternativen für eine Unkrautkontrolle im Nachauflauf. Dieses kann entweder wie aufgezeigt und auch von SCHRÖDER *et al.* (2008) favorisiert in einer Spritzfolge mit der Vorlage eines metazachlorhaltigen Herbizides gefolgt von einer späteren gezielten zweiten Nachauflaufanwendung erfolgen. Ein großer Teil der Verunkrautung kann aber auch mit einer einmaligen gezielten Nachauflaufanwendung wirksam bekämpft werden.

Ein wesentlicher Baustein für die Kontrolle von *Geranium sp.* als zunehmende Problemunkräuter sind dabei die dimethenamidhaltigen Herbizide Butisan Kombi und Butisan Gold. So wurden in den vorliegenden Versuchen mit dem Einsatz der Mischung Butisan Kombi + Runway im frühen Nachauflauf gegen *Geranium sp.* über 90% Wirkungsgrad erzielt. GEHRING *et al.* (2012) bestätigen die gute Wirkung dimethenamidhaltiger Herbizide gegenüber *Geranium sp.*, zeigen aber auch einen Wirkungsabfall zwischen der Vor- und Nachauflaufanwendung.

Für die Bekämpfung des zweiten wichtigen Problemunkrautes in Niedersachsen *S. officinale* ist Fox ein wichtiger Baustein für die Nachauflaufanwendung. Allerdings ist für einen halbwegs sicheren Bekämpfungserfolg ein möglichst früher Anwendungstermin notwendig, gegebenenfalls entsprechend der Zulassung auch als Splittinganwendung. Problematisch ist die eingeschränkte Mischbarkeit des Herbizids, häufiger kommt es beim Raps zu Unverträglichkeitssymptomen. Aufgrund des guten Kompensationsvermögens wächst Winterraps diese Schäden in der Regel wieder aus. In Versuchen von WOLBER und NIEHOFF (2013) traten nach Foxschäden keine ertragsrelevanten Effekte auf. Desweiteren werden auch für den Einsatz clomazonehaltiger Herbizide (SIEBERHEIN *et al.*, 2001) oder den Einsatz von Stomp Aqua (SCHRÖDER und MEINLSCHMIDT 2011) Kulturschäden beschrieben.

Eine breite Palette wirksamer Nachauflaufherbizide bietet letztendlich die Möglichkeit einer gezielten Unkrautbekämpfung wie sie im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes gefordert wird, zumal im Winterraps als konkurrenzstarke Kultur nach Einschätzung verschiedener Autoren (DINGEBAUER, 1990; WAHMHOF, 1990; MUNZEL *et al.*, 1992; SCHRÖDER *et al.*, 2008) ein wesentlicher Anteil der Herbizidmaßnahmen unwirtschaftlich ist.

Literatur

- BROSCHWITZ, B., D. AMELUNG und E. ERICHSEN, 1998: Zur Verbreitung und Bekämpfung von Problemunkräutern im Winterraps. J. Plant Dis. Protect., Special Issue **XVI**, 645-648.
- DINGEBAUER, G., 1990: Untersuchung zur tolerierbaren Verunkrautung in Winterrapskulturen. J. Plant Dis. Protect., Special Issue **XII**, 315-328.
- DROBNY, H. G. und N. SCHLAG, 2012: Salsa (Ethametsulfuron-Methyl 75 % WG): Ein neuartiges selektives Raps herbizid für Europa. Julius-Kühn-Archiv **434**, 540-543.
- GEHRING, K., S. THYSSEN und T. FESTNER, 2012: Möglichkeiten der Kontrolle von Storchschnabel-Arten (*Geranium spp.*) mit Herbiziden im Ackerbau. Julius-Kühn-Archiv **434**, 671-678.
- GOERKE, K., U. RICHTER, M. SCHULTE und B. GEROWITT, 2008: Regionale Unterschiede in der Rapsunkrautflora Deutschlands. Gesunde Pflanzen **60**, 151-158.
- HANZLIK, K. und B. GEROWITT, 2010: Verändern pfluglose Bodenbearbeitung und Frühsaaten die Unkrautvegetation im Winterraps? Gesunde Pflanzen **62**, 1-9.

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

- HANZLIK, K. und B. GEROWITT, 2012: Occurrence and distribution of important weed species in German winter oilseed fields. *J. Plant Dis. Protect.* **119** (3), 107-120.
- MUNZEL, L., W. WAHMHOF und R. HEITFUSS, 1992: Überprüfung und Weiterentwicklung eines Schadensschwellenmodells zur gezielten Unkrautbekämpfung im Winterraps. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XIII*, 205-214.
- PETERS, K. und B. GEROWITT, 2011: Auswirkungen des Klimawandels auf die Unkrautarten im Raps. *Raps* **3**, 8-10.
- PETERSEN, J., 2013: Clearfieldsystem im Raps: Möglichkeiten der integrierten Unkrautkontrolle in imidazolinontoleranten Winterrapsorten. *Raps* **3**, 28-31.
- SIEBERHEIN, K., R. DITTRICH und M. LUKOSZEK, 2001: Verunkrautung von Winterraps im Freistaat Sachsen und Versuchsergebnisse zur chemischen Unkrautbekämpfung in Winterraps. *Gesunde Pflanzen* **2**, 48-52.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, B. KRÜGER, E. BERGMANN und R. BALGHEIM, 2008: Neue Möglichkeiten bei der Unkrautbekämpfung in Winterraps – ein Beitrag zur Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der landwirtschaftlichen Praxis. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XXI*, 483-492.
- SCHRÖDER, G. und E. MEINLSCHMIDT, 2011: Restverunkrautung im Nachauflauf kontrollieren. *Raps* **4**, 14-21.
- SCHRÖDER, G., 2013: Restverunkrautung zielgerichtet ausschalten. *Raps* **4**, 8-14.
- WAHMHOF, W., 1990: Unkrautbekämpfung in Winterraps – Auswertung von Herbizidversuchen aus den Jahren 1971 bis 1988. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XII*, 329-338.
- WERNER, B., 1999: Vier Jahre bundesweite Gemeinschaftsversuche zur gezielten Unkrautbekämpfung im Winterraps mit dem Göttinger Schadensschwellenmodell. *J. Plant Dis. Protect.* **106** (1), 33-45.
- WERNER, B. und R. HEITFUSS, 1997: Möglichkeiten der überregionalen Anwendung des Göttinger Schadensschwellenmodells zur gezielten Unkrautbekämpfung im Winterraps. *NachrBl. dt. PflSchutzd.* **49**, 191-200.
- WOLBER, D. und T.-K. NIEHOFF, 2012: Clearfield-Raps: Herbizidtoleranter Raps ohne Gentechnik – Fortschritt oder Rückschritt. *Raps* **3**, 22-26.
- WOLBER, D. und T.-K. NIEHOFF, 2013: Raps herbizidempfehlungen 2013. *Raps* **3**, 12-22.

Distribution, significance and control of foxtail, *Setaria* spp. and crabgrass, *Digitaria* spp. in the Netherlands, and the situation within Europe

Verbreitung, Bedeutung und Bekämpfung von Unkrautirsen der Gattungen Setaria und Digitaria in den Niederlanden und die Situation in Europa

Hilfred Huiting^{1*}, Ton Rotteveel², Piet Spoorenberg¹ and Rommie van der Weide¹

¹Applied Plant Research, Wageningen UR / P.O. Box 430, NL-8200 AK Lelystad, the Netherlands

²Zutphenseweg 80, 7211 ED Eefde, the Netherlands

* Corresponding author, Hilfred.huiting@wur.nl



DOI 10.5073/jka.2014.443.085

Abstract

After its introduction in the early 1960s, maize (silage) became the largest arable crop in the Netherlands. It is often grown in monoculture or in rotation with grass leys as in a large part of Europe too. Its introduction and monoculture induced weed shifts. Although initially not considered problematic, the C4 species *Setaria viridis* and *Digitaria ischaemum* became more prominent due to changing crop husbandry systems since the mid 1990s. Tolerance of these weeds to triazines and metolachlor forced farmers to adapt weed control strategies, i.e. use of herbicides with other modes of action. Also, reduced nutrient input, earlier sowing dates, and low tillage caused a slower early crop development and increased the need for adequate weed control in general.

In today's herbicide portfolio in the Netherlands, control of *S. viridis* and *D. ischaemum* is marked as being most efficient with dimethenamide-P, isoxaflutole, S-metolachlor, and topramezone. The last one compound has a much higher degree of contact action than the predominant soil acting former three. This gives topramezone a rather unique position and, thus, Dutch crop advisors claim topramezone to be indispensable. In neighbouring countries the situation is comparable to the Dutch situation. In more Southern European countries (France, Spain) topramezone is not available, leading to a higher use of pre-emergence herbicide applications.

The different weed control strategies for *S. viridis* and *D. ischaemum*, including non-chemical alternatives, are discussed together with economic aspects.

Keywords: Control, *Digitaria*, distribution, Europe, *Setaria*, topramezone

Zusammenfassung

Nach seiner Einführung in den frühen 1960er Jahren wurde (Silo)Mais die bedeutendste landwirtschaftliche Kulturpflanze in den Niederlanden. Mais wird meist in Monokultur oder in Rotation mit Grünland angebaut, wie in großen Teilen Europas auch. Seine Einführung und die Monokultur induzierten Verschiebungen im Unkrautartenspektrum. Obwohl anfangs nicht als problematisch betrachtet, wurden die C4-Arten *Setaria viridis* und *Digitaria ischaemum* ab Mitte der 1990er Jahren aufgrund geänderter Ackerbausysteme bedeutender. Toleranz dieser Unkräuter gegen Triazine und Metolachlor nötigten Landwirte ihre Unkrautbekämpfungsstrategien anzupassen, d.h. Einsatz von Herbiziden mit anderen Wirkungsmechanismen. Darüber hinaus bedingte eine reduzierte Düngung, eine frühere Aussaat und reduzierte Bodenbearbeitung eine langsamere Jugendentwicklung der Kultur und erhöhte die Notwendigkeit einer angemessenen Unkrautbekämpfung

Im heutigen Herbizidportfolio der Niederlande sind Dimethenamid-P, Isoxaflutole, S-Metolachlor und Topramezone am besten bewertet für die Kontrolle von *S. viridis* und *D. ischaemum*. Topramezone hat dabei eine vergleichsweise stärkere Kontaktwirkung als die vorherrschend über den Boden wirksamen anderen Wirkstoffe. Dies verleiht Topramezone eine verhältnismäßig einzigartige Position und Niederländische Berater bezeichnen Topramezone deshalb als unverzichtbar. In den Nachbarländern ist die Situation vergleichbar wie in den Niederlanden. In mehr südeuropäischen Ländern (Frankreich, Spanien) ist Topramezone allerdings nicht verfügbar, was die Nutzung von Voraufherbiziden bedingt.

Die verschiedenen Unkrautbekämpfungsstrategien für *S. viridis* und *D. ischaemum* werden diskutiert, einschließlich nicht-chemischer Alternativen und wirtschaftlichen Aspekte.

Stichwörter: Bekämpfung, *Digitaria*, Europa, *Setaria*, Topramezone, Verbreitung

Introduction

After its introduction in the early 1960s maize today covers the largest cultivation area of all crops in the Netherlands (239,129 ha in 2012) and is mostly grown as silage maize. In practice, maize is often grown without rotation or in rotation with grass leys. Every crop is accompanied by a specific weed flora, whereupon the change in climate nowadays allows weeds with southern origin to colonize more northern areas. In the case of maize, colonization by the group of C4 grass weeds was particularly successful. Particularly successful recent invaders are *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. (*Setaria*; foxtail) and *Digitaria ischaemum* (Schreb.) Schreb. Ex Muhl (*Digitaria*; cabgrass). Review papers by DOUGLAS *et al.* (1985), MITCH (1988), DEFELICE (2002), FRANKE *et al.* (2009), TURNER *et al.* (2012), OREJA *et al.* (2012) and MEHRTENS (2013) give an overview of the biology and life cycle of *Setaria* and *Digitaria* spp. Both genera are spread worldwide and are characterized by emergence in late-seeded spring crops (generally shortly after *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. emergence) over a long period, rapid vegetative growth, seed production from July onwards, high seed rates, and a high phenotypic plasticity. Weed tolerance to triazines and metolachlor forced farmers to use herbicides with other modes of action, which is a continuous development. This paper describes the situation with *Setaria* and *Digitaria* spp. in the Netherlands and other countries in Europe. An overview of current control strategies and future developments and needs are presented, with special attention to the possible position of topmezone.

Emergence and distribution of *Setaria* and *Digitaria* spp. in the Netherlands and their current control

The oldest known findings of *Setaria* and *Digitaria* species in the Netherlands date back to the Iron Age, including *S. viridis* and *D. ischaemum* (WEEDA, 1994). Within their genera both are today the most common species. The shown recordings of *S. viridis* and *D. ischaemum* (Fig. 1) demonstrate that both species are especially important in southern and more continental regions of the Netherlands.

Although part of the Dutch flora for millennia, *S. viridis* and *D. ischaemum* seem to have become more important since 1994. Other *Setaria* species occurred since then that were not recognized before. The known presence of *Setaria faberi* Herrm. seems to be restricted to the east of the country, but its distribution may be much wider considering determination difficulties and possible lack of interest by (amateur) botanists (DIRKSE *et al.*, 2001). Furthermore *Setaria* species are closely related and hybrids occur (DEKKER, 2003). Although the within field genetic variation seems to be low (although no Dutch data available), the genetic variation between fields can be very high (USA data, personal communication Rotteveel). Therefore, the species group should be considered as very adaptable. Recent developments in Germany and Belgium (DIRKSE *et al.*, 2001; HOSTE *et al.*, 2001, 2006) are in line with the noticed increase in *Setaria* occurrence in the Netherlands over the last two decades.

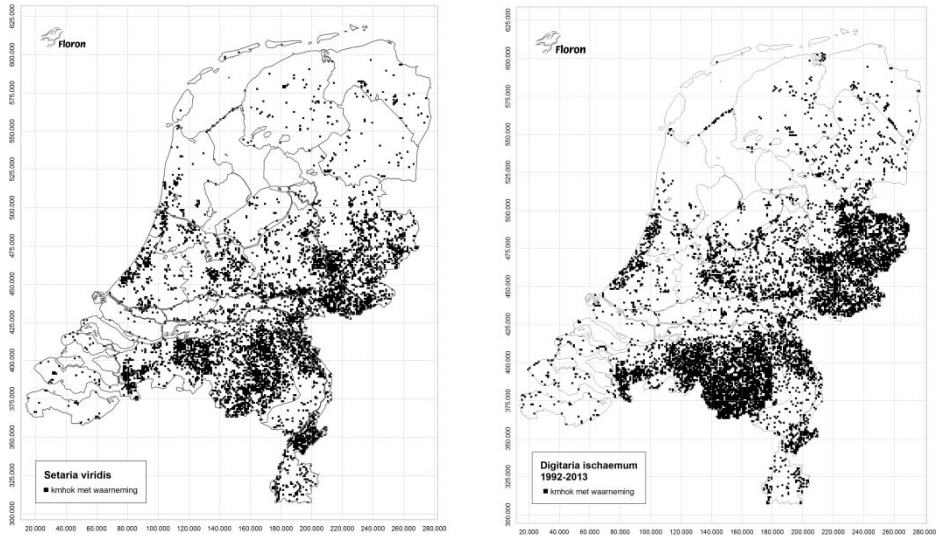


Fig. 1 Recordings of *Setaria viridis* and *Digitaria ischaemum* across the Netherlands in the period 1992-2013; 1 km grid cells (Floron/NDFF 2013).

Abb. 1 Vorkommen von *Setaria viridis* und *Digitaria ischaemum* in den Niederlanden im Zeitraum 1992-2013; 1 km Raster (Floron/NDFF 2013).

To date the exact reasons for the noted *Setaria* increase in the Netherlands have not been determined, but sufficient knowledge is available to interpret the influencing factors: crop rotation, fertilization, variety choice, chemical and mechanical control systems, farming scale, climate change, and time.

The introduction of silage maize marked a shift from traditional mixed farming systems with winter and root crops and *Centaurea* spp., *Papaver* spp. and *Chenopodium* spp. as the typical weed flora to specialised dairy farms with monocultures of maize for continuous years. After the era of atrazine – in which maize crops were dense due to over-manuring, leaving little space for weed competition – the maize growing systems changed halfway the 1980s, after restricting the use of manure. New maize varieties became available that ripened earlier and had less foliage. While *Setaria* and *Digitaria* were present in low numbers formerly, the new system promoted both species: favourable sowing conditions arrived earlier in spring and cultivars were more cold tolerant, moving up the sowing season (today approx. three weeks earlier than in the 1960's). Dicotyledon resistance and *Echinochloa* insensitivity to atrazine and label restrictions induced changes in chemical weed control to favouring metolachlor and bentazone. *Setaria* and *Digitaria* – rather sensitive to both, atrazine and metolachlor – did not benefit from these changes despite better conditions for germination.

Tab. 1 Active ingredients with registered efficacy towards grass species (GEWASBESCHERMINGSGIDS 2012, NVWA) and efficacy rating per active by DLV Plant (HANDLEIDING GEWASBESCHERMING AKKERBOUW EN VEEHOUDERIJ, 2012).

Tab. 1 Registrierte Wirkstoffe mit Wirksamkeit gegen Ungräser (GEWASBESCHERMINGSGIDS 2012, NVWA) und Effektivitätsbewertung durch DLV Plant (HANDLEIDING GEWASBESCHERMING AKKERBOUW EN VEEHOUDERIJ, 2012).

Active ingredient	Trade name	<i>Setaria viridis</i>	<i>Digitaria ischaemum</i>
Bentazone	Basagran e.a.	*	*
+ terbuthylazine	Laddok N (+ oil)	-	-
Dimethenamide-P	Frontier Optima	+++	+++
+ iodosulfuron-methyl-sodium	MaisTer	++	+
Glufosinate-ammonium	Finale (and others)	*	*
Isoxadifen-ethyl tembotrione	+ Laudis WG	*	*
Isoxaflutole	Merlin	+++	+++
Mesotrione	Callisto	-	-
+ nicosulfuron	Elumis	*	*
+ terbuthylazine	Calaris	++	++
Nicosulfuron	Milagro/Samson	+	+
Pendimethalin	Stomp	*	*
Rimsulfuron	Titus	++	-
S-metolachlor	Dual Gold	+++	+++
+ terbuthylazine	Gardo Gold	+++	+++
Sulcotrione	Mikado	-	+
Tembotrione	Laudis	++	++
Topramezone	Clio	+++	+++

+++ = very sensitive; ++ = sensitive; + = moderately sensitive; - not sensitive; * = no information supplied

Today the herbicide portfolio used has changed further such that triazines and metolachlor are mostly avoided and an increased number of herbicides is included (with several label restrictions). Most maize in the Netherlands is grown on quickly drying sandy soils where typical soil herbicides do not perform well and despite early sowing (April 20-30) crop canopy closure is hardly earlier than before the end of July. These two aspects together promote competition by *Setaria* and *Digitaria*. At the current increased farming scale, maize cultivation is predominantly contractor work, implying an urge to control weeds in one pass, which creates increasing escape opportunities for weeds. Although operators are trained, distinguishing of grass weed species is often felt to be too time-consuming. This creates extra opportunities for *Setaria* and *Digitaria* species, which germinate after the main *Echinochloa* flux and are also able to germinate over an extended period of time.

Tab. 2 Possible tank mixtures to control maize weeds (after VAN DER WEIDE and HOGENKAMP, 2010).**Tab. 2** Mögliche Herbiziden-Mischungen für die Unkrautbekämpfung in Mais, (nach VAN DER WEIDE und HOGENKAMP, 2010).

Tank mix (application rates in kg or L formulated product per ha)	<i>Echinochloa crus-galli</i>	<i>Digitaria ischaemum</i>	<i>Setaria viridis</i>	<i>Poa annua</i>	<i>Agropyron repens</i>	<i>Geranium spp.</i>	<i>Polygonaceae</i>
Pre-emergence (sufficient moisture)							
0.1 Merlin (post-emergence mechanical hoeing)	+	++	++	-	-	+	-
0.075-0.1 Merlin + 0.5-1 Frontier Optima/Dual Gold*	++	++	++	++	-	+	+
2.0 Gardo Gold	++	++	++	++	-	++	+
Post-emergence							
1-2 Laddok N + 0.5 Promotor	-/+	-	-	+	-	+(+)	+
1.5 Mikado/Callisto	++	+	-	-	-	-	++
1 Laddok N + 0.5-1.0 Mikado/Callisto	++	+	-	+	-	+(+)	++
1 Laddok N + 0.5 Promotor + 0.2 Clio	++	++	++	+	-	+(+)	++
1 Laddok N + 0.75 Milagro/Samson	++	-	++	++	++	+(+)	+
1 Mikado/Callisto + 0.75 Milagro/Samson	++	+	++	++	++	-	++
0.5-1 Mikado/Callisto + 0.75 Milagro/Samson+ 0.5-1.0 Frontier Optima/Dual Gold	++	+	++	++	++	+	++
0.15 Maister + 2 Actirob	++	-	++	++	++	+	+
0.125 Maister + 1.5 Actirob + 0.75 Mikado/Callisto	++	+	++	++	++	+	++
0.125 Maister + 1.5 Actirob + 0.2 Clio	++	++	++	++	++	+	++
1.0 Calaris + 0.75 Milagro/Samson + 0.5-1.0 Frontier Optima/Dual Gold**	++	+(+)	++	++	++	++	++
2 Gardo Gold + 0.75 Milagro/Samson + 0.75-1 Mikado/Callisto	++	+(+)	++	++	++	++	++
0.2 Clio + 0.75 Milagro/Samson+ 0.5-1 Frontier Optima/Dual Gold**	++	++	++	++	++	+	+(+)
2 Gardo gold + 2 Laudis	++	++	++	++	-	++	++
2 Laudis + 0.5 Milagro/Samson + 0.5-1 Frontier Optima/Dual Gold**	++	++	++	++	++	+	++

Efficacy rated from - to ++

* Dual Gold needs 25% lower application rate compared with Frontier Optima with same efficacy

** Without pre-emergence harrowing rates may be lowered, possibly with somewhat higher rate of Frontier or Dual Gold

		Hungary (Békás)	Hungary (Tolna)	Italy (Po valley)	Spain (Ebro valley)	France (South valley)	France (South-West)	France (Normandie)	Netherlands	Denmark	Poland (Westpolskie)	Germany (South-West)
Monocotyledonae												
Poaceae	<i>Digitaria sanguinalis</i>											
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	↑	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
	<i>Elymus repens</i>											
	<i>Panicum</i> (e.g. <i>mitaceum</i>)	↑	↑									
	<i>Poa annua</i>											
	<i>Setaria viridis</i>	↑	↑	↔	↔							
	<i>Sorghum halepense</i>	↑	↑	↔	↔							
Dicotyledonae												
Amaranthaceae	<i>Amaranthus</i> (e.g. <i>retroflexus</i>)	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔		↔	↔
Asteraceae	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	↔	↔								↔	↔
	<i>Anthemis</i> spp.											
	<i>Cirsium</i> (e.g. <i>arvense</i>)	↔	↔		↔							↔
	<i>Tripsurospermum inodorum</i>								↔			↔
	<i>Xanthium</i> (e.g. <i>strumarium</i>)	↔	↔		↑	↔						↔
Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i>					↔	↔		↔	↔	↔	
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium album</i>	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	
Convolvulaceae	<i>Calystegia sepium</i>											
	<i>Convolvulus arvensis</i>	↔	↔	↔	↔				↔	↔	↔	↔
Geraniaceae	<i>Geranium</i> (e.g. <i>molle</i>)								↔	↔	↔	
Malvaceae	<i>Abutilon theophrasti</i>		↔	↔	↔				↔	↔	↔	
Plantaginaceae	<i>Veronica</i> (e.g. <i>persica</i>)					↔	↔	↔	↔	↔	↔	
Polygonaceae	<i>Fallopia convolvulus</i>	↔	↔				↔	↔	↔	↔	↔	↔
	<i>Polygonum aviculare</i>			↑	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
	<i>Polygonum persicaria</i>			↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>			↔	↔						↔	
Rubiaceae	<i>Galium aparine</i>							↔	↔	↔	↔	
Solanaceae	<i>Datura</i> (e.g. <i>stramonium</i>)	↔	↔		↑	↔	↔				↔	↔
	<i>Solanum elaeagnifolium</i>			↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Violaceae	<i>Viola</i> spp.							↔	↔	↔	↔	↔

Fig. 2 Most important weeds in European maize production. Significance is represented by symbol colour: black = high, grey = medium, white = low. Occurrence is represented by symbol size: large = widespread and regularly, medium = widespread and occasionally, small = regionally and rare. The 5-year population development is represented by arrows: up = increasing, horizontal = stable, down = decreasing (after MEISSE et al., 2010).

Abb. 2 Wichtigste Unkräuter und Ungräser im europäischen Maisanbau. Die Signifikanz ist dargestellt durch die Farbe der Symbole: Schwarz = hoch, Grau = mittel, Weiß = gering. Vorkommen ist dargestellt durch Größe: groß = weitverbreitet und häufig, mittel = weitverbreitet und gelegentlich, klein = regional und selten. Die fünfjährige Populationsentwicklung ist dargestellt durch Pfeile: aufwärts = zunehmend, horizontal = stabil, abwärts = abnehmend (nach MEISSE et al., 2010).

The contractor operated single pass weed control has access to approx. 20 active ingredients currently registered in the Netherlands, of which sixteen have an efficacy towards grasses in general (GEWASBESCHERMINGSGIDS 2012, NVWA). The highest rated active ingredients against *S. viridis* and *D. ischaemum* are dimethenamide-P, isoxaflutole, S-metolachlor, combined with terbuthylazine or not, and topramezone (HANDLEIDING GEWASBESCHERMING AKKERBOUW EN VEEHOUDERIJ, 2012). The selection of herbicides by contractors is based on an average occurrence and abundance of weeds including grasses in the treated fields. This situation asks for sophisticated tank mixtures of herbicides (Tab. 2). The tank mixture displayed in Table 2 have been discussed and agreed by the relevant chemical companies.

Distribution and importance of *Setaria* and *Digitaria* species in Europe and weed control strategies

Maize being an important crop within Europe, the research networks ENDURE and PURE used it as a case study of IPM implementation (MEISSLE *et al.*, 2010; VASILEIAS *et al.*, 2011 and 2013). Many maize cultivation factors were defined including herbicide use and weed abundance and importance from 11 European maize growing regions (MEISSLE *et al.*, 2010). Silage maize dominates in Northern Europe whereas grain production dominates in Central and Southern Europe. Several factors differ between areas, such as crop rotation, nitrogen level, and level of IPM implementation.

Tab. 3 Annual area (in % of total) of maize crop treated with pesticides in 11 European regions and mean number of applications in crop cultivation (in brackets) (from MEISSLE *et al.*, 2010).

Tab. 3 Jährliche Maisanbaufläche (% von gesamt) die mit Pestiziden behandelt ist in 11 europäischen Regionen und durchschnittliche Anzahl der Anwendungen in der Anbau (in Klammern) (nach MEISSLE *et al.*, 2010).

Country and region		Herbicides		Insecticides			Fungicides	
		Spray ^a		Soil application	Seed treatment	On-plant spray ^b	Seed treatment	
Hungary	Békés	100	(0.3 / 1)	50	20	40	(1)	100
	Tolna	95	(0.3 / 1.1)	60	40	20	(1)	100
Italy	Po Valley	96	(0.9 / 0.5)	5	80	11	(1)	100
Spain	Ebro Valley	100	(1.0 / 1.0)	10	100	50	(1-2)	100
France	Southwest	98	(1.1 / 0.4)	42	0	6	(1)	100
	Grand-Ouest	99	(0.7 / 1.0)	32	0	5	(1)	100
	Normandie	100	(0.8 / 0.7)	33	0	2	(1)	100
Netherlands		99	(0.2 / 1.1)	0	50	0	-	95
Denmark		97	(0.1 / 2.3)	0	0	5	(1)	95
Germany	Southwest	90	(0.2 / 0.9)	?	100	?		100
Poland	Southwest	100	(0.1 / 1.3)	0	20	20	(1)	100

^a number of applications pre-/ post-emergence in parenthesis

^b number of applications in parenthesis

Among the more than 50 weed species recognised as important for maize, the monocotyledons *Echinochloa crus-galli* and *S. viridis* cause problems over all European countries (Fig. 2). *Sorghum halepense* (L.) Pers. is a major weed in southern regions, while *Elymus repens* (L.) Gould and *Poa annua* (L.) are important in northern regions. *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. causes problems only in some regions. Although *D. sanguinalis* is stated in Figure 2 and is the main species in the Southern countries, *D. ischaemum* is the main species for the Northern countries. However, a clear discrimination between both *Digitaria* species is in practice often not made. On being asked about the situation after publication of the paper, the Italian co-authors of MEISSLE *et al.* (2010) estimated the status of *Setaria* spp. today to be the same as *Digitaria* spp. reflecting its increased significance.

No (expected) changes of the analysis above were reported in Spain (ESCARIO *et al.*, 2013), Germany, and Hungary.

The Dutch chemical weed control situation is comparable to its neighbouring countries. Further south (France, Spain, Italy), pre-emergence applications are common practice (Tab. 3), dictated by the risk of yield reductions due to an insufficiently controlled first flush of weeds together with a lack of reliable post-emergence herbicides for the control of *Setaria* and *Digitaria* spp. (Tab. 4). In addition *Setaria* and *Digitaria* spp. may escape pre-emergence control as a result of a long emergence window, making post-emergence control options desirable. Figure 4 further demonstrates the increasing importance of *S. halepense* (L) Pers. in the Southern European countries, another C4 species that has been noted to migrate northwards including occasional recordings in the Netherlands. This monocotyledon is regarded to be one of the most noxious weeds (HOLM *et al.*, 1977). However, according to experiences from USA, *S. halepense* control is improved through post-emergence application of topramezone (BASF, 2011), which is likely to have an efficacy against seedlings. No specific data from Europe are available however.

Tab. 4 Overview of registered herbicidal active ingredients (Y = yes/N = no) in 13 European countries in 2013.

Tab. 4 Übersicht zugelassener Herbizid-Wirkstoffe (Y = ja; N = nein) in 13 europäischen Ländern in 2013.

Active ingredient	Belgium	Czech Republic	Denmark	Spain	France	Greece	Italy	Netherlands	Poland	Romania	Sweden	Slovenia	Croatia
Acetochlor	N	Y	N	Y	N	N	Y	N	Y	N	N	N	Y
Alachlor	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Atrazine	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Dimethenamid-P	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y
Foramsulfuron	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Mesotrione	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Nicosulfuron	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y
Pethoxamid	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	Y	Y
Rimsulfuron	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
S-metolachlor	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y
Sulcotrione	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N
Tembotrione	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y
Terbutylazine	Y	N	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y
Topramezone	Y	Y	N	N	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N

A survey among the ENDURE and PURE members on the role and importance of topramezone for reliable weed control showed, that in Hungary the area of pre-emergence control appears to have decreased in recent years, due to unsatisfactory control in case of drought after application together with the new availability of several post-emergence herbicides; topramezone is used in several tank mixtures in Hungary. It seems that in countries with more reliable post-emergence options, including topramezone, the area of pre-emergence applications decreased (comparison of Tab. 3 and 4). In France and Spain, topramezone is not registered and sulfonylurea-based herbicides are still very important in post-emergence weed control. In Spain nicosulfuron is very important for control of *S. halepense* and there is much interest in new opportunities to control monocotyledons. Several international respondents stated the importance of the availability of herbicides with different modes of action and HRAC groups for resistance management.

Future outlook and discussion on control options of *Setaria* and *Digitaria* spp.

International developments

Some current developments are important towards the future of weed control in maize. To start with, weed control is depending on the cropping system and in many areas reduced tillage is increasingly practiced. A further increase depends on direct (energy and labour savings) and indirect economic constraints (erosion reduction, water retention, cover crops or double cropping, and new techniques such as strip tillage) (VAN DER WEIDE *et al.*, 2008b; VAN DER WEIDE, 2011; RIEMENS *et al.*, 2013). Reduced tillage may increase weed abundance and hamper non-chemical weed control, calling for non-chemical innovations (MELANDER *et al.*, 2013). Particularly monocotyledonous weeds will benefit from reduced tillage. Meanwhile, availability of (new) herbicides to address monocotyledonous weed problems is far from being secure. Outside Europe weed control is much more based on the possibilities offered by GM crops, making the future introduction of new herbicides a rarity. Introduction of GM crops in Europe is unlikely in the short term. At the moment the EU is heading towards regulation of IPM through Regulation 2009/128/EC and current discussions relate to possible implementations. The IPM challenge is addressed by research programs like ENDURE and PURE, naming diversification of the crop rotation as a measure for maize (VASILEIADIS *et al.*, 2011). Generally, the uncontrolled presence of weeds in the early crop stages – until approx. 40 cm height – decreases the yield of maize. In these stages, weed competition is normally fierce as the early development of maize is rather slow making control measures unavoidable. Weed competition during the early developmental stages may lead to 5 to 10% yield reduction at moderate weed pressure and up to 25% or more at a high weed pressure (DEMEULEMEESTER, 2012). The direct economic losses would in the Netherlands add up to more than €500 per hectare at 25% yield loss (SCHREUDER *et al.*, 2009).

Chemical control alternatives

Maize growing is currently still largely dependent on the availability and use of herbicides, as farmers' considerations tend to weigh short-term economics over long-term sustainability. There are no signs that this will significantly change within the (near) future. Introduction of herbicide resistant GM crops will only increase this dependence, whereas the herbicides involved are equally prone to the evolution of resistance in weeds. In many regions maize crop rotations are often absent or narrow which together with the herbicide dependence indicates a considerable risk of herbicide resistance development (ROTTEVEEL *et al.*, 2011). After the triazines, this is now happening with ALS inhibitors in the countries surrounding the Netherlands, whilst sulfonyleureas are an important tool for grass control in maize. To delay resistance development, alternations with other chemical groups are vital, together with mechanical control if possible. In this respect the inclusion of HPPD-acting herbicides such as topramezone can be very valuable. Especially regarding the control of *Setaria* and *Digitaria* spp. topramezone is claimed to be the most reliable contact herbicide by crop advisors, although more pronounced for *Setaria* spp. than for *Digitaria* spp. These independent advisors state topramezone to be effective against *Setaria* and *Digitaria* spp. until tillering whereas high efficacy ratings of dimethenamide-P, isoxaflutole and S-metolachlor (Tab. 1) are predominantly based on their soil activity in early weed stages under favourable conditions. So without the comparatively high efficacy of topramezone and in the presence of *Setaria* and *Digitaria* spp., weed control in maize will be more difficult, resulting in higher rates of other compounds or repeated applications, together with an increase of *Setaria* and *Digitaria* spp. populations in the near future. The selection pressure resulting from this development is likely to induce the development of metabolic resistance. Nevertheless, the control of *Setaria* and *Digitaria* spp. with less effective herbicides than topramezone may still sufficiently control weeds, but could increase cost level, besides environmental effects and the risk of crop failure. In the latter case, extensive weed seed production may even induce future weed control problems. Soil herbicides may intrinsically be effective against *Setaria* and *Digitaria* spp. However, should the control depend on soil herbicides, both soil moisture and the products' persistence should be sufficient

for the long emergence window of these species. If not, further costs have to be paid to prevent yield loss and the build-up of a seed bank, possibly without a secure control of grasses.

Non-chemical alternatives

To reduce both, environmental impact and the risk of resistance, wider crop rotations and/or more mechanical weed control will have to be applied. Widening crop rotation – with grass leys or (root) crops – will considerably slow down population build-up and resistance evolution, the former merely through competition and the latter through different options for weed control, even more so with root crops. Application of one or more of the available mechanical control techniques in maize (VAN DER SCHANS, 2006; VAN DER WEIDE *et al.*, 2008a, 2010 and 2011) brings a non-selective weed control component into the system. Mechanical weed control has the potential of keeping weeds under control in maize. However, it requires experience and skills to be applied effectively and cost-effective, more so than with chemical weed control. An effective purely mechanical strategy takes at least one or two passes with a harrow and one or two with a hoe – with (in case of little harrowing) or without finger or torsion weeders. Under Dutch conditions the cost per hectare of a mechanical strategy may be higher than a chemical strategy (SCHREUDER *et al.*, 2009). However, in other countries or based on other premises (e.g., rate of labour cost) the comparison may be quite even. Especially harrowing with its high capacity is a cost-effective way of mechanical weed control. Pre-emergence harrowing reduces the size and density of weeds without harming the maize crop. If combined with a herbicide application, these smaller weeds need a lower application rate or will still be completely controlled at the recommended rate. Besides harrowing, hoeing offers good possibilities, especially in combination with torsion or finger weeders and ridging. Nevertheless, it will be necessary to overcome the current prejudice that mechanical weed control is (too) labour-intensive and weather-dependent for large scale contractor operations. In the case of *Setaria* and *Digitaria* spp., their long emergence windows would dictate multiple passes. Nevertheless, incorporation of mechanical control into the control system should be considered to be a valuable tool in reducing resistance development. Moreover, the perceived higher weather sensitivity of mechanical weed control may in fact be merely different – not higher – compared to the sensitivity of spraying, emphasizing a need to build up farmer's experience.

Synthesis

If alternative weed control strategies lead to poorly controlled weed species, this will induce a shift in the weed flora and possible resistance development, as this is dependent on the left-over of resistant individuals that can set seeds. Crop rotation and alternation of weed control measures hamper the resistance development and may greatly influence herbicide input. However, the availability of effective post-emergence herbicides remains necessary to control weeds including *Setaria* and *Digitaria* spp. This need is created by the ineffective control by rotation and mechanical options under all circumstances and the often practical unsuitability of pre-emergence herbicides for long-lasting control under unfavourable conditions. Currently, countries without a topramezone registration (Spain, Italy and France) still depend on pre-emergence spraying illustrating that a varied choice of post-emergence products is necessary too when the different weed floras are taken into consideration. The current increases of both *Setaria* and *Digitaria* spp. in maize demands the availability of efficacious post-emergence herbicides with a wide window of application. Topramezone is a herbicide that could fill this niche because of its mode of action, its spectrum of activity, its window of application, and its suitability to be mixed with other products.

References

- BASF, 2011: Armezon Herbicide Technical Information Brochure. Tough on Weeds. Safe on Corn.
- CRUJNS, J., J. REMIJN, J. SALOMONS and G. SNIPPE, 2012: Handleiding gewasbescherming akkerbouw en veehouderij 2012. Assen, DLV Plant, 248 pp.
- DEFELICE, M. S., 2002: Intriguing World of weeds: Green foxtail, *Setaria viridis* (L) P. Beauv. Weed Technol. **16**, 253-257.
- DEKKER, J., 2003: The foxtail (*Setaria*) species group. Weed Sci. **51**, 641-656.
- DEMEULEMEESTER, K., 2012: Praktijkgids landbouw en natuur. Depotnummer D/2012/3241/385.

- DIRKSE G. M., A. I. REIJERSE and C. G. ABBINK-MEIJERINK, 2001: *Setaria faberi* (Chinese naalbaar) in Nederland over 't hoofd gezien. *Gorteria* **27** (5), 109-114.
- DOUGLAS, B. J., A. G. THOMAS, I. A. MORRISON and M. G. MAY, 1985: The biology of Canadian Weeds 70. *Setaria viridis* (L) Beauv. *Can. J. Plant Sci.* **65**, 669-690.
- ESCARIO, A. J., X. O. SOLD-SENAN, J. A. C. I MOR Y and J. R. GUINJUAN, 2013: Malas hierbas exóticas en cultivos de maíz en lleida, qué ha cambiado en veinte años. *Vide rural* 2013/1, 54-58.
- FRANKE, A. C., C. J. VAN DIJK and M. M. RIEMENS, 2009: *Setaria verticillata*, *Digitaria ischaemum* and *Geranium molle*, biology and control, a review of literature. *Nota 587*, Plant Research International, Wageningen, 27 p.
- HOSTE, I., 2006: *Setaria viridis*. In: *Atlas van de flora van Vlaanderen en het Brussels gewest*. VAN LANDUYT W., HOSTE I., VANHECKE L., VAN DEN BREMT P., VERCRUYSE W. and DE BEER D., Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Nationale Plantentuin van België, 828.
- HOSTE I. and F. VERLOOVE, 2001: De opgang van C₄-grassen (Poaceae-Panicaceae) in de snel evoluerende onkruidvegetaties in maïsakkers tussen Brugge en Gent (Vlaanderen, België, *Dumortiera* **78**, 2-11.
- MEHRENTS J., 2013: Artenvielfalt, Verbreitung und Bedeutung von Unkrauthirschen in Mais. Limburgerhof, 2013, BASF, 20 pp.
- MEISSE, M., P. MOURON, T. MUSA, F. BIGLER, X. PONS, V. P. VASILEIADIS, S. OTTO, D. ANTICHI, J. KISS, Z. PALINKAS, Z. DORNER, R. VAN DER WEIDE, J. GROTEN, E. CZEMBOR, J. ADAMCZYK, J.-B. THIBORD, B. MELANDER, G. CORDSEN NIELSEN, R. T. POULSEN, O. ZIMMERMANN, A. VERSCHWELE and E. OLDENBURG, 2010: Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *J. Appl. Ent.* **134**, 357-375.
- MELANDER, B., N. M. MUNIER-JOLAIN, R. CHARLES, J. WIRTH, J. SCHWARZ, R. Y. VAN DER WEIDE, L. BONIN, P. K. JENSEN and P. K. KUDSK, 2013: European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops. *Weed Technol.* **27** (1), 231-240.
- MITCH, L., 1988: Intriguing world of weeds: crabgrass. *Weed Technol.* **2**, 114-115.
- NVWA, 2012: Gewasbeschermingsgids 2012. Wageningen, 2012, Wageningen Academic Publishers, 591 pp.
- OREJA, F. H., F. BASTIDA and J. L. GONZALEZ-ANDUJAR, 2012: Simulation of control strategies for decision-making regarding *Digitaria sanguinalis* in glyphosate-resistant soybeans. *Ciencia Investigación Agraria* **39** (2), 299-308.
- RIEMENS, M. M., H. F. HUITING, J. DERU, H. A. VAN SCHOOTEN, D. A. VAN DER SCHANS, J. VERLOOP, F. AARTS and R. Y. VAN DER WEIDE, 2013: Duurzaam bodembeheer maïs. Research report. 101 p.
- ROTTEVEEL, T. L. N. JORGENSEN and U. HEIMBACH, 2011: Resistance management in Europe: a preliminary proposal for the determination of a minimum number of active substances necessary to manage resistance. *EPP0 bulletin volume* **41** (3), 432-438.
- SCHANS, D. A. VAN DER, P. O. BLEEKER, L. P. G. MOLENDIJK, M. C. PLENTINGER, R. Y. VAN DER WEIDE, L. A. P. LOTZ, R. BAUERMEISTER, R. TOTAL and D. T. BAUMANN, 2006: Practical weed control in arable farming and outdoor vegetable cultivation without chemicals *Applied Plant Research*, (PPO 352), 77 p.
- SCHREUDER, R., M. VAN LEEUWEN, J. SPRUIJT, M. VAN DER VOORT, P. VAN ASPEREN and V. HENDRIKS-GOOSSENS, 2009: Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2009. ISSN 1571-3059.
- TURNER, F. A., K. S. JORDAN and R. C. VAN ACKER, 2012: Review: the recruitment biology and ecology of large and small crabgrass in turfgrass: implications for management in the context of a cosmetic pesticide ban. *Can. J. Plant Sci.* **92** (5), 829-845.
- VAN DER WEIDE, R. Y., 2011: Geen structuurschade meer bij maïs. *Syscope* 2011 (**29**), 6-7.
- VAN DER WEIDE, R. Y., P. O. BLEEKER, V. T. J. M. ACHTEN, L. A. P. LOTZ., B. MELANDER and F. FOGELBERG, 2008(a): Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Res.* **48** (3), 215-224.
- VAN DER WEIDE, R. Y., P. O. BLEEKER, M. M. RIEMENS, L. A. P. LOTZ, J. ASCARD and B. MELANDER, 2011: Tools and innovations in mechanical weed control in north-western Europe. *Topics in Canadian Weed Science* **6**, 91-102.
- VAN DER WEIDE, R. Y. and W. HOGENKAMP, 2010: Maisteelt in beweging: Landschapsmaïs in plaats van 'gewone' maïs? *Boerderij* 2010 (**26**), 44-47.
- VAN DER WEIDE, R. Y., H. F. HUITING, P. O. BLEEKER and M. M. RIEMENS, 2011: Pro's and con's of reduced tillage in Maize with respect to weeds. *Proceedings 9th ERWS workshop on physical and cultural weed control*, Samsun, Turkey, 28-30 March, 2011.
- VAN DER WEIDE, R. Y., F. A. N. VAN ALEBEEK and R. C. F. M. VAN DEN BROEK, 2008(b): En de boer, hij ploegde niet meer?: literatuurstudie naar effecten van niet kerende grondbewerking versus ploegen. *Lelystad : Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenteteelt*. 45 p.
- VAN DER WEIDE, R. Y., D. J. M. VAN BALEN and G. J. H. M. MEUFFELS, 2010: Telen zonder ploeg. *Kennisakker.nl* 2010 (13-10-2010). *Productschap Akkerbouw/Kennisakker*.
- VASILEIADIS, V. P., M. SATTIN, S. OTTO, A. VERES, Z. PALINKÁS, R. BAN, X. PONS, P. KUDSK, R. Y. VAN DER WEIDE, E. CZEMBOR, A. C. MOONEN and J. KISS, 2011: Crop protection in European maize-based cropping systems: current practices and recommendations for innovative integrated pest management. *Agric. Syst.* **104**, 533-540.
- VASILEIADIS, V. P., A. C. MOONEN, M. SATTIN, S. OTTO, X. PONS, P. KUDSK, A. VERES, Z. DORNER, R. VAN DER WEIDE, E. MARRACCINI, E. PELZER, F. ANGEVIN and J. KISS, 2013: Sustainability of European maize-based cropping systems: Economic, environmental and social assessment of current and proposed innovative IPM-based systems. *J. Agron.* **48**, 1-11.
- WEEDA, E. J., 1994: Nederlandse oecologische flora wilde planten en hun relaties, 5. ISBN no 90-6301-024-9.
- HOLM, L. G., D. L. PLUCKNETT, J. V. PANCHO and J. P. HERBERGER, 1977. *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. The University Press of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 609 pp.

Quantitative population epigenetics - a catalyst for sustainable agriculture

Quantitative Populations-Epigenetik, Katalysator für eine nachhaltige Landwirtschaft

Reinhold Stauß

Ritzbecker Weg 13, 24222 Schwentinental district Klausdorf, Germany
Reinhold.Stauss@web.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.086

Abstract

The use of quantitative population epigenetics and the related importance of stress can lead to a paradigm shift, away from a high-input and high-output agriculture with a maximum utilization of the genetic potential to an ecological intensification, to a low-input and high-output agriculture which is optimization and harmonization of limiting stress factors to achieve maximum results with limited environmental or ecological resources.

Keywords: Agricultural ethics, ecological intensification of agricultural practices, high-output, low-input, quantitative population epigenetics, stress

Zusammenfassung

Die Anwendung der quantitativen Populations-Epigenetik und die damit verbundene Bedeutung von Stress kann einen Paradigmenwechsel unterstützen, weg von einer „High-Input, High-Output“-Landwirtschaft mit einer maximalen Ausnutzung des genetischen Potentials hin zu einer ökologischen Intensivierung, zu einer Optimierung und Harmonisierung von begrenzenden Stressfaktoren, zu einer „Low-Input, High-Output“-Landwirtschaft, mit einer maximalen Nutzung des Umweltpotentials.

Stichwörter: Agrarethik, High-Output, Kulturelle Nachhaltigkeit, Low-Input, ökologische Intensivierung der Landwirtschaft, quantitative Populations-Epigenetik, Stress

Introduction

Quantitative population genetics describes the variability observed in characters due to genetic variation. Quantitative population epigenetics describes the variability observed in characters due to factors in the environment -- induced primarily by factors of the agricultural system (STAUSS, 1992; STAUSS, 2012).

The “breeder” improves the genotype - for him environments are “fixed” effects. The farmer strives to intervene in the environment by effecting a specific phenotypic expression, within the norm of reaction inherent in the genotype.

The application of quantitative population epigenetics as a catalyst for sustainable agriculture offers earning opportunities (market segments or business cases) for the existing players in the high-input agriculture in terms of win-win.

For example, agriculture is a major factor in eutrophication of surface waters. By using epigenetically active compounds to switch on yield or stress genes, new crop varieties for low-input agriculture could be developed to improve nitrogen and water use efficiency for cereal production significantly.

Background and objectives

One of the early goals in quantitative genetics was to quantify levels of heritable variation in order to distinguish how much of the standing variation in populations was due to genetic or environmental causes (LYNCH and WALSH, 1998). For this purpose, evolutionary genetics has focused on a measure first introduced in animal breeding: heritability (h^2). For environmental causes “one minus heritability ($1 - h^2$)” is a measure of the portion of variability that is due to environmental effects (STAUSS, 1992; STAUSS, 2012).

An essential requirement to determine an environmental potential for a low-input and high-output agriculture is to quantify the amount of environmental variability expressed for traits under

consideration. CHARMANTIER and GARANT (2005) showed in a review article, that the magnitude of the genetic and environmental components of phenotypic variation can change with environmental conditions. Results provide evidence for decreased heritability in more stressful and unfavourable conditions, significantly so for morphometric traits but not for traits more closely related to fitness, which have per se lower values. In addition, in stressful conditions such as food shortage, resource allocation to various physiological functions may favour traits that directly affect survival to the detriment of less vital functions such as morphological characters. Hence, this could explain that heritability of morphometric traits tends to decrease more in unfavourable growth conditions than heritability of traits more closely related to fitness.

Environments with high-yield potential and high heritability enable maximum use of the genetic yield potential (BRAUN, 1984; PFEIFFER, 1984) - often resulting in high-input agricultural production systems with an overuse of groundwater, natural resources and biodiversity.

Ecological intensification of agricultural practices can be a low-input and high-output agriculture. The use of quantitative population epigenetics and the related importance of stress (STEINBERG, 2011) can support such intensification. There can be a paradigm shift, away from a maximum input system with a maximum utilization of the genetic potential (maximization of h^2) towards a minimum input system with a maximum utilization of the epigenetic potential, that is, to an optimization of limiting stress factors (maximization of $1-h^2$) to achieve maximum results with limited environmental or ecological resources:

- low-input with high-output and
- utilization of the genetic potential (inherited characteristics) and the environmental potential or environmental inheritance (acquired characteristics).

For the agricultural and the food industry there is a need for an ecological intensification of agricultural practices (LÖWENSTEIN, 2011) there is a need for a second green revolution. This second green revolution, however, can only be done on the basis of an agricultural ethics that takes into account the ecological, social and cultural sustainability (MEIER, 2012).

Results and work packages

Ecological intensification of agricultural practices offers earning opportunities (market segments or business cases) for the existing players in the high-input agriculture in terms of win-win, especially in utilization of genotype-environment interactions.

Work package Lessons to learn from breeders

Likewise in breeding, index selection can be appropriated to improve efficiency in screening environmental factors as for example biologically active chemical compounds, soil preparation techniques, etc., for potential to enhance quantitative characters, such as yield, standability and resistance to unfavourable environmental influences.

Breeder and chemical researcher are different sides of the same coin (organism). The breeder improves the genotype - for him environments are "fixed" effects. The "environmental" researcher strives to intervene in the environment by effecting a specific phenotypic expression by modifying the environment, within the "norm of reaction" inherent in the genotype.

Likewise basic rules for experimental designs and data analysis appropriated by breeders can be applied

- experimental designs: fix or random effects, size, trial conditions e.g. stress or non-stress, etc.
- post-experimental evaluations,
- optimization of experimental designs and
- quantitative description of single or multiple traits designs e.g. using selection indices.

A comparison of quantitative population genetics with quantitative population epigenetics (Tab. 1) makes this obvious.

Tab. 1 Comparison of quantitative population genetics with quantitative population epigenetics.

Tab. 1 Vergleich von quantitativer Populations-Genetik mit quantitativer Populations-Epigenetik.

Quantitative population genetics	Quantitative population epigenetics
<p>Quantitative genetics is the study of continuous traits (such as height or weight) and their underlying mechanisms. It is effectively an extension of simple Mendelian inheritance in that the combined effect of the many underlying genes results in a continuous distribution of phenotypic values (WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Quantitative genetics[Internet]).</p>	<p>Quantitative epigenetics is the study of continuous traits (such as height or weight) and their underlying mechanisms. It is the combined effect of the many underlying genes and epigenetical effects resulting in a continuous distribution of phenotypic values.</p>
<p>The main application of quantitative genetics to artificial and natural populations has been to use the pattern of genetic variances and covariances to predict the response of the mean phenotype to selection (BARTON, 1990).</p>	<p>The main application of quantitative epigenetics to artificial and natural populations could be to use the pattern of genetic variances and covariances to predict the response of the mean phenotype to regulator-active factors of the farming system or to biologically active chemical compounds as artificial environmental factors.</p>
<p>From genome to phenotype (inherited characteristics):</p> <p>Quantitative genetics aims to link phenotypic variation for complex traits to its underlying genetic basis in order to better understand and predict genetic architecture and long term change within natural, agricultural, and human populations.</p> <p>Traditionally built upon statistical abstractions of genetic effects, the field is now rapidly advancing by making use of recent exciting developments in genetic and genomic technologies to reveal explicit links between genes and complex phenotypes, and therefore serves as a focal point for bringing together many emerging areas of genetics, genomics, physiology, statistics, bioinformatics, and computational biology.</p> <p>This synthesis is already having a large impact on the areas of evolutionary biology, plant and animal breeding, and the genetic analysis of human disease.</p>	<p>From "environment" to phenotype (acquired characteristics):</p> <p>Quantitative epigenetics aims to link phenotypic variation for complex traits to its underlying epigenetic basis in order to better understand and predict epigenetic architecture and changes within natural, agricultural, and human populations – due to environmental factors.</p> <p>Traditionally built upon statistical abstractions of epigenetic effects (environmental, biologically active chemical compounds), the field could be used to reveal explicit links between epigenome and complex phenotypes, and could therefore serve as a focal point for bringing together many emerging areas of genetics, epigenetics, genomics, physiology, statistics, bioinformatics, and computational biology.</p> <p>This synthesis could have a large impact on the areas of evolutionary biology, selection and development of factors of the agricultural system or biologically active chemical compounds, and the epigenetic analysis of human disease.</p>

The results of breeding trials in recent years and decades with their estimates of variance components can be used in epigenetic approaches analogously. Single nucleotide polymorphism (SNP) epigenotype analysis of biologically active factors of the farming system with SNP-Chips could be used to reveal explicit links between epigenome and complex phenotypes.

Work package win-win for actors in "Food production"

In the proposal for a regulation of the European Parliament and Council establishing Horizon 2020 - the Framework Programme for Research and Innovation 2014-2020 (EUROPEAN COMMISSION, 2011) the European Commission formulates under Section 2. "Food Security, Sustainable Agriculture, Marine and Maritime Research and the Bioeconomy" page 62 the Specific Objective 2.1 "The specific objective is to secure sufficient supplies of safe and high quality food and other bio-based products, by developing productive and resource-efficient primary production systems, fostering related ecosystem services, alongside competitive and low carbon supply chains. This will accelerate the transition to a sustainable European bio-economy". And then explains "In essence, a transition is needed towards an optimal and renewable use of biological resources and towards

sustainable primary production and processing systems that can produce more food and other bio-based products with minimised inputs, environmental impact and greenhouse gas emissions, enhanced ecosystem services, zero-waste and adequate societal value. A critical effort of interconnected research and innovation is a key element for this to happen, in Europe and beyond."

Such a transition, with quantitative population epigenetics as a catalyst, should steer the entire economy to a paradigm shift toward sustainable economic regimes, away from maximum input systems towards low-input systems with high-outputs, that is, to an optimization of limiting factors to achieve maximum results with limited environmental resources.

Examples for sustainable agriculture:

- Nutritional deficiencies and for example use of a genotype-low-nitrogen interaction (low-input/high-output-varieties, breeding companies).

The breeding programs should be based on the philosophy of releasing "low-input" varieties in response to the decreasing availability of resources, the need to protect the environment and the likelihood of unfavourable changes in climate. This approach involves breeding plants that have reduced requirements for water, fertilizer and pesticides, and where possible, simpler cultural requirements. Biodiversity protection is also important and promising new lines should be carefully assessed before release to ensure that they do not have weedy tendencies.

A new variety using a genotype-low-nitrogen interaction is an earning opportunity solving eutrophication problems and is a high yielding variety on marginal soils.

- Bioactive "additives" (regulator-active compounds) to switch on yield genes of nitrogen deficiency or to switch on quality genes (chemical industry, fertilizer industry).
 - nutrient availability

Roots provide plants with water, minerals, and anchorage (LLORET, 2002). In order to adapt to a very heterogeneous environment, root architecture is extremely plastic, responding to nutrient concentrations in the soil (LÓPEZ-BUCIO *et al.*, 2003), soil matrix heterogeneity (HINSINGER *et al.*, 2005; HODGE, 2006) and biotic interactions (OSMONT *et al.*, 2007; PÉRET *et al.*, 2009).

The ability of plants to respond appropriately to nutrient availability is of fundamental importance for their adaptation to the environment. The responses of root architecture to nutrients can be modified by plant growth regulators, such as auxins, cytokinins and ethylene, suggesting that the nutritional control of root development may be mediated by changes in hormone synthesis, transport or sensitivity. Recent information points to the existence of nutrient-specific signal transduction pathways that interpret the external and internal concentrations of nutrients to modify root development (LÓPEZ-BUCIO *et al.*, 2003).

Although root system architecture (RSA) is a highly plastic trait and varies both between and among species, the basic root system morphology and its plasticity are controlled by inherent genetic factors. These mediate the modification of RSA, mostly at the level of root branching, in response to a suite of biotic and abiotic factors. Recent progress in the understanding of the molecular basis of these responses suggests that they largely feed through hormone homeostasis and signalling pathways. Novel factors implicated in the regulation of RSA in response to the myriad endogenous and exogenous signals are also increasingly isolated through alternative approaches such as quantitative trait locus analysis (OSMONT *et al.*, 2007).

Few root traits have so far been used successfully in plant breeding for enhanced P and Zn uptake in rice or any other crop. Insufficient genotypic variation for traits or the failure to enhance nutrient uptake under realistic field conditions are likely reasons for the limited success (ROSE *et al.*, 2012). One potential complication of conventional breeding for improved nutrient acquisition is that nutrient deficiencies tend to be patchy across field plots. Heterogeneous nutrient availability at screening sites can result in environmental effects

masking genetic effects and, as a result, the realized heritability may be rather low (ROSE *et al.*, 2012).

- quality of food

Tomato fruits from organic farming accumulate more nutritional compounds, such as phenolics and vitamin C as a consequence of the stressing conditions associated with farming system (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

- quality of plant ingredients, quality of bioactive compounds in plants

Studies have shown that diterpenecarnosic acid plays a role as an antioxidant in rosemary, a drought-tolerant species. This mechanism were also measured in a drought-recovery cycle in leaves of sage (*Salvia officinalis* L. *subs. officinalis*), a drought-susceptible species, growing in Mediterranean field conditions. Results suggest that the same mechanism of antioxidative protection by carnosic acid applies in rosemary and sage, and shows that it is the complete set of antioxidants (and not a single mechanism) that is responsible for avoiding drought-induced damage in plants (MUNNÉ-BOSCH *et al.*, 2001).

Many of the antioxidants are produced by plants in response to oxidative stress. If the plant experiences stress (from for example sunlight, drought, microorganisms) they speed up their antioxidant production. Stressed plants therefore contain the most antioxidants (DEMMIG-ADAMS and ADAMS, 2002).

Important traits and low heritability, it is precisely such questions, which could be a major field of research for epigenetic approaches, maximizing ($1 - h^2$).

- treatments with anti-apoptotic substances (chemical industry, fertilizer industry, breeding companies, agricultural engineering companies), special case - survival strategies.
 - fresh cut flower food, e.g. Chrystal

Different additives can be used to prolong the lives of fresh cut flowers. Experiments were performed with various substances mixed with water, including aspirin, vitamin pills, vinegar, pennies, ethylene and anti-ethylene treatment and flower food to test their effect on cut flowers' lifespans. (WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Additives for cut flowers [Internet]).

- Monoethanolamine

The effect of monoethanolamine (EA, applied as foliar spray, 10 mg per pot) on grain yield and yield components was investigated in pot experiments with spring barley, winter wheat, and winter rye. Under conditions of a moderate drought stress the applied EA increased the grain yield of spring barley from 5 % to 7 % (significance only at $\alpha = 0.05$). A stimulating effect of EA on the grain yield of winter wheat and winter rye was also obtained (BERGMANN *et al.*, 1990, 1991).

- Strobilurins: a fitness cocktail

Scientists at Bayer CropScience have discovered that a tried and tested fungicide that has been protecting cereals, vegetables and fruit crops against dangerous fungal diseases for many years also has completely new and extremely useful properties: trifloxystrobin not only successfully protects against harmful fungi, but also increases plants' resistance to stress (BAYER CROPSOURCE, 2012).

- Anti-apoptotic products in medicine?

Severe pathological consequences of injuries can be largely determined by acute response of damaged tissues, involving excessive loss of cells through the mechanism of programmed cell death (apoptosis). The risk of death or disability can be greatly reduced by suppressing such a deadly reaction. A research program in medicine are aimed at identification and production of factors and their comprehensive testing as tissue protecting agents against injuries, caused by ionizing radiation, acute chemical poisoning, heat shock and hypoxia (GUDOV *et al.*, 2005).

Treatments aiming to inhibit apoptosis do simultaneously inhibit the expression of proapoptotic factors and promote the expression of anti-apoptotic factors (WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Apoptosis [Internet]).

– Gabapentin-Lactam (GBP-L)

Gabapentin-Lactam (GBP-L) was shown to be neuroprotective preventing degeneration of neurons when a common feature of conditions such as glaucoma, optic-nerve injury, or retinal ischemia is apoptotic retinal ganglion cell death (JEHLE *et al.*, 2000, LAGRÈZE *et al.*, 2001, PIELEN *et al.*, 2004).

KNÖRLE and STAUSS (2005) showed in 2 trials that Gabapentin-Lactam (GBP-L) prolongs cut flower lifespans of different rose types 3 to 5 days compared to treatments with marketable fresh cut flower food significantly. The differentiation of flowering stages started after the 5th to 7th day.

Work package “Production of public goods (ecosystem functions additionally to food production)”

• Clear water, biodiversity

Agroecosystems are essential sources of provisioning services, and the value of the products they provide are readily measured using standard market analysis. Depending on their structure and management, they may also contribute a number of other ecosystem services (MEA, 2005). Ecosystem processes operating within agricultural systems can provide some of the same supporting services described above, including pollination, pest control, genetic diversity for future agricultural use, soil retention, and regulation of soil fertility, nutrient cycling and water. In addition, agricultural systems can be managed to support biodiversity and enhance carbon sequestration - globally important ecosystem services (POWER, 2010).

A low-input and high-output agriculture achieve maximum results with limited environmental or ecological resources – and so produces food, clear water and biodiversity.

• agriCulture

There are many definitions of culture (KROEBER and KLUCKHOHN, 1952). To select one, culture could be described as: (1) the mind of a cultured person; (2) the process of culturing people; (3) art and intellectual works that might culture a person; and (4) culture as a system that maintains, communicates, and reproduce the characteristics of a society, and that allows for people to participate in it (WILLIAMS, 1981; AXELSSON *et al.*, 2013).

Cultural sustainability has to do with the preservation of our culture, ethics, norms and values. The most important aspect of cultural development is to remind people culture and ethics, regardless of place, origin or belief and to promote culture to avoid extinction. Cultural sustainability also has to do with enabling religious pluralism because not all norms are equally valid though religious beliefs mostly help the society in advancement (CHIZURUM, 2013).

That is cultural sustainability which is the positive stress, the mindfulness (maximization of 1-h²) for resilient changes.

Work package “Sustainable Management”

• Reliability, Mindfulness, Resilience

Research reveals that certain organizations have been highly successful in honing their abilities to act reliably and handle adversity. These are called high-reliability organizations (HROs). They include aircraft carriers, nuclear power plants and firefighting crews, which consistently deliver high performance in unpredictable situations where the potential for error and disaster is overwhelming. Although ordinary companies do not face do-or-die circumstances of the same magnitude, they can learn a great deal from HROs about managing their operations effectively under trying conditions so crises can be avoided (WEICK and SUTCLIFFE, 2007).

When things do go wrong, companies must identify and empower those with the expertise to contain or minimize the situation, and then rely upon organizational resilience to bounce back quickly after a misstep. By operating "mindfully" and making critical adjustments in a timely manner, business organizations are better able to manage the unexpected in a challenging, highly competitive environment (WEICK and SUTCLIFFE, 2007).

The basic message of WEICK and SUTCLIFFE (2007 and 2013) is that expectations can get you into trouble unless you create a mindful infrastructure. WEICK and SUTCLIFFE recommend five practices for developing "mindfulness":

1. *Preoccupation with failure.* Encourage the reporting of errors and pay attention to any failures. These lapses may signal possible weakness in other parts of the organization. Too often, success narrows perceptions, breeds overconfidence in current practices and squelches opposing viewpoints. This leads to complacency that in turn increases the likelihood unexpected events will go undetected and snowball into bigger problems.
2. *Reluctance to simplify interpretations.* Analyze each occurrence through fresh eyes and take nothing for granted. Take a more complex view of matters and look for disconfirming evidence that foreshadows unexpected problems. Seek input from diverse sources, study minute details, discuss confusing events and listen intently. Avoid lumping details together or attempting to normalize an unexpected event in order to preserve a preconceived expectation.
3. *Sensitivity to operations.* Pay serious attention to minute-to-minute operations and be aware of imperfections in these activities. Strive to make ongoing assessments and continual updates. Enlist everyone's help in fine-tuning the workings of the organization.
4. *Commitment to resilience.* Cultivate the processes of resilience, intelligent reaction and improvisation. Build excess capability by rotating positions, creating additional sources of knowledge and adding new skills. Be mindful of errors that have occurred and take steps to correct them before they worsen. Once the fix is made, make every effort to return to a state of preparedness as quickly as possible. Be ready to handle the next unforeseen event.
5. *Deference to expertise.* During troubled times, shift the leadership role to the person or team possessing the greatest expertise and experience to deal with the problem at hand. Provide them with the empowerment they need to take timely, effective action. Avoid using rank and status as the sole basis for determining who makes decisions when unexpected events occur.
6. *Certification with standards in agriculture.* About 5 million hectares of cultivated area are currently certified according to standards. The certification is used as a tool for sustainable development on the basis of aspiring to agricultural ethics (MEIER, 2012). Important in the development of standards is the intercultural discourse between all concerned. Whose foundations are set for scientific knowledge, a strong precautionary principle and on practical experience?

The agricultural ethics is the question of the costs and burdens. And who pays for this. Serious doubts about the future viability of industrial agriculture there, especially about a billion people go hungry.

Ethically oriented visions for sustainable environmental, social and cultural development seem to be rather inappropriate for everyday of the current agricultural economic reality today. Too often their central principles are again sacrificed if a market Imputed becomes apparent. Moral, religious or cultural values come back in the age of our economic world order to insignificance.

Because agricultural ethics, the future-decisive issues on the basis of values, the background of the conflicts are particularly evident in it. This cannot be solved in the continuation of the path. It is a transdisciplinary discourse on the basis of respect for the life required.

- The Luebeck concept of „Nature-Oriented Forest Use“: Factoring non-knowledge into natural resource management

Trying to predict and control outputs in systems where the dynamics are not well known has always been a challenge of forest management. This goal is further complicated by the complexity of interactions at multiple levels. Identification of the vital system attributes and the development of an understanding of the underlying processes, weak links, and critical limits of these processes is a starting point for addressing this challenge by using systems thinking to improve forest resilience. The case studies from Bosque SecoChiquitano and the Luebeck forest highlighted the importance of understanding the linkages between ecological structures and processes, and the associated and economic values and benefits for social systems. In both cases, it was demonstrated that management guided by principles of ecological integrity provided greater economic benefits than a management plan based on objectives for improved efficiency (McAFEE *et al.*, 2010).

Forest management is related to systems with:

- high complexity and dynamics which are mainly unknown,
- individual living and interacting elements,
- the ability of self-regeneration and adapt to changes,
- extremely long lifespans and production times.

Furthermore, forests are embedded with highly complex (and unpredictable) social, cultural and economic systems. Forest management is a type of economic activity characterized by planning and decision-making in spite of ever persisting knowledge gaps, blind spots and unknowable's (FÄHSER, 2012).

According FÄHSER (2012), basic considerations for the management concept in Luebeck are:

- forests are unknown “black box” systems,
- forest management decisions are decisions made under uncertainty,
- forest management is method of adapting to nature with a nature oriented approach and
- forest managers are cooperative partners in a participatory process with concerned persons and organizations.

Even “ethics” is increasingly introduced into the forest management plans.

Nature-oriented forest use seems to fulfil the notion of having a significantly improved financial result, while meeting ambitious ecological and social demands at the same time. Respectively, this effect is caused by the adaptation to natural processes (instead of substituting nature with artificial forest structures) and by minimizing the impact. Economically, this results in:

- low-input/costs,
- low production risks and diseases,
- low damage to soil and remaining trees,
- high value of the target timber and non-timber products (FÄHSER, 2012).

Discussion

The cultural sustainability (values, appreciation, ethics, customs, agriCulture, ...) as unifying element for the environmental, economic and social pillar is the (positive) stress (maximization of 1-h²) for a paradigm shift in the behaviour of stakeholders (ALTNER, 1992):

- credibility and awareness, life style issues,
- Corporate Social Responsibility,
- low-input with high-output of food and, for example clean water, biodiversity, landscape, agriCulture, ..., and
- win-win situation for the actors of today's intensive agriculture.

How work was carried out?

In the 80s Stauss has rewritten parts of University Stuttgart-Hohenheim lecture notes of Prof. Geiger, Prof. Fewson and Mr. Utz concerning quantitative genetics and selection indices analogous to the environmental point of view as "selection of biologically active substances (as ingredients of the environment) on the basis of quantitative genetics." The "analog invention" was without test results, unfortunately, it could not be patented, but with STAUSS (1992) he succeeded with an "application"-publication for the field of agro-industry. The initial reason of his work at that time was a statement of his superiors at Ciba in Basel that the chemical pesticides and plant regulators industry is the competing sector to breeding.

Recently Stauss realized that he basically had developed a script on "Quantitative Population Epigenetics".

References

- ALTNER, G., 1992: Über Leben. Von der Kraft der Furcht. Patmos Verlag, Düsseldorf, Germany, 172 pp.
- Axelsson, R., P. Angelstam, E. Degerman, S. Teitelbaum, K. Andersson, M. Elbakidze and M. K. Drotz, 2013: Social and Cultural Sustainability: Criteria, Indicators, Verifier Variables for Measurement and Maps for Visualization to Support Planning. *Ambio* **42**(2), 215–228.
- BARTON, N. H., 1990: Pleiotropic Models of Quantitative Variation. *Genetics* **124**, 773-782.
- BAYER CROPSCIENCE, 2012: A fungicide with anti-stress potential. Fighting fungal infestation and heat shock [Internet]. research, the Bayer Scientific Magazine; last updated: November 14, 2012 [cited 2013 Jul 23]. Available from: <http://www.research.bayer.com/en/stress-management.aspx>.
- BERGMANN, H., H. ECKERT and G. MEISGEIER, 1990: Einfluss von Monoethanolamin auf Ertrag und Wasserausnutzung von Sommergerste. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **153**(1), 21-24.
- BERGMANN, H., H. ECKERT, C. WEBER and D. ROTH, 1991: Einfluss von Monoethanolamin auf den Ertrag von Kulturpflanzen. I. Untersuchungen zum Einfluss von Monoethanolamin auf den Kornertrag und den N-Haushalt von Getreide (Mitscherlichgefäß-Experimente). *Journal of Agronomy and Crop Science* **166**(2), 117-126.
- BRAUN, H.-J., 1984: Untersuchungen über die Selektionseignung von Orten für die Züchtung von Sommerweizen im tropisch-subtropischen Bereich. Hohenheim, Univ., Diss., 133 pp.
- CHARMANTIER, A. and D. GARANT, 2005: Environmental quality and evolutionary potential: Lessons from wild populations. In: *Proceedings of the Royal Society, Biological Sciences* **272**, 1415–1425.
- CHIZURUM, E. I., 2013: Sustainability in our contemporary society. *Journal of Economics and Sustainable Development* **4**(7), 146-149.
- DEMMIG-ADAMS, B. and W.W. 3rd ADAMS, 2002: Antioxidants in photosynthesis and human nutrition. *Science* **298**, 2149-2153.
- EUROPEAN COMMISSION, 2011: Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing Horizon 2020 - The Framework Programme for Research and Innovation (2014-2020), COM(2011) 809 final, 2011/0401 (COD) [cited 2013 Jul 18]. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0809:FIN:en:PDF>.
- FÄHSE, L., 2012: Factoring non-knowledge into natural resource management : the Luebeck concept of nature-oriented forestry. In: *Global change management: knowledge gaps, blindspots and unknowables*. CYBULLA, F., GEIGER, L. and P. IBISCH, 1st edition 2012, Series for Ecomics and Ecosystem Management, vol. 1, Baden-Baden, Germany, Nomos, ISBN 978-3-8329-6714-7, 113-130.
- GUDOV, A., E. STROM, M. FONSTEIN, P. KOMAROV and A. SHAKHOV, 2005: Tissue Protecting Antidotes From Anti-Apoptotic Factors of Mycoplasma. Ft. Belvoir, Defense Technical Information Center. <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA443424>.
- HINSINGER, P., G. R. GOBRAN, P. J. GREGORY and W. W. WENZEL, 2005: Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *New Phytologist* **168**,293-303.
- HODGE, A, 2006: Plastic plants and patchy soils. *Journal of Experimental Botany* **57**, 401-411.
- JEHLE, T., W.A. LAGRÈZE, E. BLAUTH, R. KNÖRLE, P. SCHNIERLE, C. H. LÜCKING and T. J. FEUERSTEIN, 2000: Gabapentin-lactam (8-azaspiro[5,4]decan-9-on; GBP-L) inhibits oxygen glucose deprivation-induced [3H]glutamate release and is a neuroprotective agent in a model of acute retinal ischemia. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology* **362**(1), 74–81.
- KNÖRLE, R. and R. STAUSS, 2005: Prolong cut flower life with Gabapentin-Lactam. Unpublished manuscript, Department of Ophthalmology, Albert-Ludwigs University of Freiburg, Germany.
- KROEBER, A. L. and C. KLUCKHOHN, 1952: Culture: A critical review of concepts and definitions. New York: Vintage Books.
- LAGRÈZE, W. A., R. MÜLLER-VELTEN and T. J. FEUERSTEIN, 2001: The neuroprotective properties of gabapentin-lactam. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* **239**(11), 845-849.
- LLORET, P.G., 2002: Lateral root initiation. In: *Plant roots: the hidden half*. Waisel, Y., Eshel, A. and U. Kafkafi, editors. 3rd edn. New York: Marcel Dekker, 127-156.
- LÓPEZ-BUCIO, J., CRUZ-RAMÍREZ and L. HERRERA-ESTRELLA, 2003: The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology* **6**, 280–287.

- LYNCH, M. and B. WALSH, 1998: Genetics and analysis of quantitative traits. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, USA, 980 pp.
- McAFEE, B. J., R. DE CAMINO, P. J. BURTON, B. EDDY, L. FAHSE, C. MESSIER, M. G. REED, T. SPIES, R. VIDES, C. BAKER, M. BARRIGA, J. CAMPOS, O. CORRALES, L. ESPINOZA, S. GIBSON, J. GLATTHORN, C. MARTINEAU-DELISLE, C. PRINS and N. A. ROSE, 2010: Managing Forested Landscapes for Socio-Ecological Resilience. In: *Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change*. MERY, G., KATILA, P., GALLOWAY, G., ALFARO, R. I., KANNINEN, M., LOBOVIKOV, M. and J. VARJO, editors. IUFRO World Series Volume 25. International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), Vantaa, Finland, chapter 22, 399-440.
- MEIER, U., 2012 (Ed.): Agrarethik – Landwirtschaft mit Zukunft. Agrimedia Verlag, Clenze, 347 pp.
- MEA, 2005: Millenium ecosystem assessment. In *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute.
- MUNNÉ-BOSCH, S., M. MÜLLER, K. SCHWARZ and L. ALEGRE, 2001: Diterpines and antioxidative protection in drought-stressed *Salvia officinalis* plants. *Journal of Plant Physiology* **158**, 1431-1437.
- OLIVEIRA, A. B., C. F. H. MOURA, E. GOMES-FILHO, C.A. MARCO, L. URBAN, *et al.*, 2013: The Impact of Organic Farming on Quality of Tomatoes Is Associated to Increased Oxidative Stress during Fruit Development. *Public Library of Science PLoS ONE* 8(2): e56354. doi:10.1371/journal.pone.0056354.
- OSMONT, K. S., R. SIBOUT and C. S. HARDTKE, 2007: Hidden branches: developments in root system architecture. *Annual Review of Plant Biology* **58**, 93-113.
- PÉRET, B., A. LARRIEU and M. J. BENNETT, 2009: Lateral root emergence: a difficult birth. *Journal of Experimental Botany* **60** (13), 3637-3643.
- PFEIFFER, W. H., 1984: Ertragsleistung, Ertragsstabilität und Adaptation von Sommerweizen auf regionaler und globaler Ebene, Analyse einer Serie von internationalen Sortenversuchen über 15 Jahre und 973 Umwelten. Hohenheim, Univ., Diss., 238 pp.
- PIELEN, A., M. KIRSCH, H. D. HOFMANN, T. J. FEUERSTEIN and W. A. LAGRÈZE, 2004: Retinal ganglion cell survival is enhanced by gabapentin-lactam in vitro: evidence for involvement of mitochondrial KATP channels. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* **242**(3), 240-444.
- POWER, A. G., 2010: Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **365** (1554), 2959-2971.
- ROSE, T. J., S. M. IMPA, M. T. ROSE, J. PARIASCA-TANAKA, A. MORI, S. HEUER, S. E. JOHNSON-BEEBOUT and M. WISSUWA, 2012: Enhancing phosphorus and zinc acquisition efficiency in rice: a critical review of root traits and their potential utility in rice breeding. *Annals of Botany* **112**(2), 1-15.
- STAUSS, R., 1992: Genetic analogues in chemical screening. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz - Journal of Plant Diseases and Protection*, Stuttgart **99**(6), 653-656.
- STAUSS, R., 2012: Quantitative population-epigenetics in screening and development of regulator-active compounds. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 579-585.
- STEINBERG, E. W., 2011: Stress Ecology: Environmental Stress as Ecological Driving Force and Key Player in Evolution. Springer Netherlands, 480 pp.
- WEICK, K. E. and K. M. SUTCLIFFE, 2007: *Managing the unexpected: resilient performance in an age of uncertainty*, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc. New York, NY, USA.
- WEICK, K. E. and K. M. SUTCLIFFE, 2013. *Managing the Unexpected: Business Organizations Must Learn to Operate "Mindfully" to Ensure High Performance*[Internet]. *Managing the Unexpected - University of Michigan Business School* [cited 2013 Jul 24]. Available from: <http://www.bus.umich.edu/FacultyResearch/Research/ManagingUnexpected.htm>.
- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Additives for cut flowers [Internet]. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*; 2013 Jul 14, 06:02 UTC [cited 2013 Jul 22]. Available from: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Additives_for_cut_flowers&oldid=564189512.
- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Apoptosis [Internet]. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*; 2013 Jul 19, 14:44 UTC [cited 2013 Jul 22]. Available from: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Apoptosis&oldid=564930860>.
- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. Quantitative Genetics [Internet]. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*; 2013 Jul 11, 07:48 UTC [cited 2013 Jul 18]. Available from: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Quantitative_genetics&oldid=563781224.
- WILLIAMS, R., 1981: *Culture*. Glasgow: Fontana Paperbacks, Glasgow.
- ZU LÖWENSTEIN, F., 2011: *FOOD CRASH: Wir werden uns ökologisch ernähren oder gar nicht mehr*. Pattloch Verlag München, Germany, 320 pp.

Neue Möglichkeiten zur Unkrautbekämpfung in konventionellen Sojabohnen

New possibilities for weed control in conventional soybeans

Jan Petersen

Fachhochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen
petersen@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.087

Zusammenfassung

In Feldversuchen wurde geprüft, ob durch den in Deutschland neuen Wirkstoff Imazamox die Möglichkeiten der Unkrautregulierung in Sojabohnen im Nachauflauf verbreitert werden können. Ferner wurden Strategien umgesetzt, die die Wirksamkeit und die Verträglichkeit der Herbizide in Sojabohnen verbessern sollten. Die Ergebnisse zeigen, dass Imazamox die Nachauflaufkontrollmöglichkeiten in Sojabohnen deutlich erweitern kann. Der Wirkstoff ist hoch selektiv und weist eine gewisse Wirkungsbreite auf. Jedoch wurde auch deutlich, dass Imazamox zumeist durch andere Herbizidanwendung im Voraufbau und in Tankmischung zur Nachauflaufanwendung ergänzt werden muss. Dies gilt zum Beispiel für die Bekämpfung von Klettenlabkraut (*Galium aparine*). Bei Kombinationen von Imazamox und Bentazon deuten sich Antagonismen an, die zu einem Wirkungsverlust führen können. Die Anwendung des NAK-Konzeptes aus Zuckerrüben mit dreifacher Herbizidanwendung in reduzierten Aufwandmengen zu den Auflaufwellen der Unkräuter ist prinzipiell möglich. Es bedarf jedoch weiterer Experimente, um gesicherte Anwendungsempfehlungen geben zu können. Generell zeigte sich, dass alle geprüften Herbizidvarianten Wirkungslücken aufwiesen, die deutlich machen, dass die Herbizidauswahl, die Aufwandmengen und deren Einsatzstrategie in Sojabohnen besonders sorgfältig und standortbezogen erfolgen müssen.

Stichwörter: Antagonismus, Imazamox, NAK-Konzept, Selektivität

Abstract

In field trials it was investigated, if the use of the in Germany new active ingredient imazamox enlarge the possibilities of post emergence weed control in soybeans. Furthermore new herbicide strategies were tested on efficacy and selectivity in soybeans. The use of imazamox was very selective and showed a relative broad spectrum of controlled weed species. However, efficacy of imazamox must be supported by a pre-emergence treatment and in most cases by a tank mix partner. For example cleavers (*Galium aparine*) can not be controlled by imazamox. Tankmixtures of imazamox and bentazon indicated an antagonism. Efficacy to some weed species was reduced compared to solo application. The low dose concept – three applications of low doses at cotyledon stage of weeds led to some success. However, these strategies must be further investigated, before they can be recommended to commercial farming practice. All herbicide strategies tested showed some surviving weed species. This indicates that choice of herbicides, dose rates and application strategies must be done very careful and site specific.

Keywords: Antagonism, imazamox, low-dose-concept, selectivity

Einleitung

Die chemische Unkrautkontrolle in nicht gentechnisch veränderten Sojabohnen ist aus mehreren Gründen schwierig. Die Auswahl an hinreichend selektiven Wirkstoffen ist begrenzt. Zudem ist die Selektivität bei manchen Sorten durch entsprechende spezifische Unverträglichkeiten nochmals verengt. Ferner ermöglicht eine frühzeitige Blattseneszenz in der Abreifephase die Entwicklung von einer Spätverunkrautung, die erhebliche Erntebehinderungen auslösen kann. Daher haben daher herbizidtolerante Sorten weltweit eine große Bedeutung erlangt. Da die Toleranzen aber zumeist gentechnisch bedingt sind, ist der Anbau in Europa aus gesellschaftspolitischen Gründen derzeit nicht möglich. Soll der gentechnikfreie Sojabohnenanbau in Europa ausgedehnt werden, so sind effiziente Strategien zur Unkrautregulierung unumgänglich.

Um zu prüfen, ob die bestehenden Möglichkeiten des Herbizideinsatzes durch den in Deutschland neuen Wirkstoff Imazamox und durch neue Strategien erweitert werden können, wurden Feldversuche angelegt. Untersucht wurde, ob und wie der Wirkstoff Imazamox in Sojabohnen

eingesetzt werden kann. Ferner wurde geprüft, ob der Ansatz aus Zuckerrüben, mehrfach zu den Auflaufwellen der Unkräuter reduzierte Aufwandmengen in Tankmischungen verschiedener Herbizide einzusetzen, auf Sojabohnen übertragen werden kann.

Material und Methoden

An den Standorten Bingen und Mainz-Kastel (Wiesbaden) wurden insgesamt 4 Feldversuche in 2 Jahren durchgeführt (Tab. 1). Die Sojabohnen wurden Mitte April mit 65 Körnern je Quadratmeter in Drillsaattechnik ausgesät. Am Tag der Saat wurden die Sojabohnen mit dem Rhizobienpräparat Hi-Stick beimpft. Die Herbizidapplikationen im Voraufbau (Tab. 2) wurden dann am Tag der Saat bzw. einen Tag später durchgeführt. Die Behandlungen erfolgten mit einer Agrotop Einradparzellenspitze mit 200 l/ha Wasser bei 2,1 bar und 4,5 km/h. Die verwendeten Herbizide und ihre Wirkstoffe nebst Konzentrationen der Aktivsubstanzen werden in Tabelle 3 dargestellt. Die Parzellen wurden quer zur Bodenbearbeitungsrichtung in einer Größe von 2,0 x 8 m angelegt. Die Anlageform waren randomisierte Blockanlagen mit 3, 4 oder 5 Wiederholungen je Standort. Die Ernte erfolgte je nach Standort und Jahr im Zeitraum von Ende September bis Mitte Oktober mit einem Parzellenmähdescher. Das Erntegut wurde bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, um die Erntefeuchte zu bestimmen. Die Herbizidwirkung wurde 28 Tage nach der jeweils letzten Behandlung der Variante und einheitlich Ende August bestimmt. Die Selektivität wurde durch visuelle Bonituren und durch Auszählen der Sojapflanzen nach den Herbizidbehandlungen bestimmt.

Tab. 1 Versuchsstandorte, Jahre, Sojasorten und Hauptunkrautarten.

Tab. 1 Trail sites, years, soybean varieties and main weeds.

Standort	Jahr	Sorte	VG (Tab.2)	dominierende Unkrautarten
Mainz-Kastel	2012	ES Mentor	1-14	CHEAL, GALAP
Bingen	2012	ES Mentor	1-14	CHEAL, SOLNI
Bingen	2013	OAC Wallace	1-16	CHEAL, SOLNI, GALAP, ABUTH, MATIN
Bingen	2013	ES Mentor	1-16	CHEAL, SOLNI, GALAP, ABUTH, MATIN

Zur statistischen Analyse wurden die Erträge auf Basis des jeweiligen Ertrages in der Handhackenvariante normiert. Anschließend erfolgte eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit dem Statistikprogramm SAS Version 9.3 und einem multiplen Mittelwertsvergleich nach Tukey bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Die Wirksamkeit der Herbizidvarianten wird in Form von Box-Plots dargestellt.

Tab. 2 Eingesetzte Herbizide, Aufwandmengen und Applikationszeitpunkte (VA-Vorauflauf; NA+NA1-Nachauflauf zu BBCH 12-14; NA2 –Nachauflauf zu BBCH 16; NAK-Nachauflauf zum Keimblattstadium der Unkräuter).

Tab. 2 Used herbicides, dose rates and application timings.

VG	Termin	Produkt	I; kg bzw. g/ha
1		Kontrolle	unbehandelt
2	VA	Sencor	0,4
	VA	+Centium	0,25
3	VA	Sencor	0,4
	VA	+Centium	0,25
	VA	+Spectrum	0,8
4	VA	Sencor	0,4
	NA	Harmony	7,5
	NA	+Trend	0,3
	NA	+Basagran	1.0
5	VA	Artist	2.0
	NA	Harmony	7,5
	NA	+Trend	0,3
	NA	+Basagran	1.0
6	VA	Spectrum	1.0
	VA	+Stomp Aqua	2.0
	NA	Basagran	1.0
	NA	+Oleo	1.0
7	VA	Spectrum	1.0
	VA	+Stomp Aqua	2.0
	NA	+Pulsar40	0,3125
	NA	+Dash	1.0
8	VA	Spectrum	1.0
	VA	+Stomp Aqua	2.0
	NA	Pulsar40	0,3125
	NA	+Basagran	1.0
	NA	+DASH	1.0
9	NA1	Harmony	7,5
	NA1	+Trend	0,3
	NA1	+Basagran	1.0
	NA2	Harmony	7,5
	NA2	+Fusilade Max	1.0
10	NA	Pulsar40	0,5
		+DASH	1
11	NA	Pulsar40	0,5
		+DASH	1
		+Basagran	1
12	VA	Stomp Aqua	1,5
	NA	Pulsar40	0,5
		+DASH	1
13	VA	Stomp Aqua	2
	NA	Pulsar40	0,3125
		+DASH	1
14		Handhacke	
15	NAK1	Stomp Aqua	0,5
		+ Pulsar40	0,1
		+Basagran	0,33
		+DASH	0,5
	NAK2	Stomp Aqua	0,5
		+ Pulsar40	0,1
		+Basagran	0,33
		+DASH	0,5
	NAK3	Stomp Aqua	0,5
		+ Pulsar40	0,1
		+Basagran	0,33
		+DASH	0,5
16	NAK1	+ Pulsar40	0,1
		+Basagran	0,33
		+DASH	0,5
	NAK2	+ Pulsar40	0,1
		+Basagran	0,33
		+DASH	0,5
	NAK3	+ Pulsar40	0,1
		+Basagran	0,33
		+DASH	0,5

Tab. 3 Eingesetzte Herbizide, Wirkstoffe, Wirkstoffkonzentrationen und HRAC-Gruppe.**Tab. 3** Used herbicides, active ingredients, concentrations of a.i. and HRAC-group.

Herbizid	Abkürzung	Wirkstoff(e)	Konzentration	HRAC-Gruppe
Artist	Artist	Flufenacet+Metribuzin	240 + 155 g/kg	K3+C2
Basagran	Bas	Bentazon	480 g/l	C2
Centium 360CS	Cent	Clomazone	360 g/l	F4
Dash (Additiv)	Dash	FME/FAA/OS*	345+205+46 g/l	-
Fusilade Max	Fusi	Fluazifop-P-butyl	125 g/l	A
Harmony SX	Har	Thifensulfuron-methyl	500 g/kg	B
Pulsar40	Puls	Imazamox	40 g/l	B
Sencor WG	Senc	Metribuzin	500 g/kg	C2
Spectrum	Spec	Dimethenamid-P	720 g/l	K3
Stomp Aqua	Stomp	Pendimethalin	455 g/l	K1
Trend (Additiv)	Trend	Isodecylalkoholethoxylat	90 %	-

* Fettsäuremethylester, Fettalkoholalkoxyolat, Ölsäure

Ergebnisse

Die Selektivitätsbonituren zeigten bei manchen Herbizidmaßnahmen sehr deutliche Schäden an der Kultur. Besonders betroffen war hiervon der Versuch Bingen 2012. Die Sorte ES Mentor wurde durch die Anwendung von Metribuzin im Voraufbau deutlich ausgedünnt. Die Pflanzenverluste im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle beliefen sich auf bis zu 10 %. Nochmals verstärkt wurden die Pflanzenausfälle durch die Kombination von Metribuzin + Flufenacet (Artist VG 5). Hier wurden bis zu 40 % Ausfälle registriert. Die überlebenden Sojapflanzen zeigten beim Einsatz von Metribuzin bzw. beim Kombinationsprodukt Artist aber auch deutliche Schäden von 30 bis 70 %. Diese Effekte waren am Standort Mainz-Kastel und in den Versuchen des Jahres 2013 nur sehr abgeschwächt zu erkennen. Die Verluste lagen hier deutlich unter 10 %. Alle anderen Herbizidvarianten zeigten direkt nach der Herbizidbehandlung kaum nennenswerte Schäden auf. Allerdings zeigten sich im Versuch Bingen 2012 nach den Pendimethalinanwendungen Vermorschungen des Stängels direkt an der Bodenoberfläche. Diese Vermorschungen führten bis zum beginnenden Laubfall in der Abreifephase zu Pflanzenverlusten. In den besonders betroffenen Parzellen führte dies auch zu Ertragseinbußen.

Die Gesamtwirkung der Herbizidmaßnahmen war in 2012 deutlich besser als im Jahr 2013, wo keine der Varianten eine ausreichende Unkrautkontrolle zeigte. Im Mittel der Versuche wird aber deutlich, dass nur wenige geprüfte Varianten eine ausreichende Wirkung zeigten. Dies galt vor allem für die Applikationsfolge von Stomp Aqua und Spectrum im Voraufbau gefolgt von einer Applikation Pulsar und Basagran im Nachaufbau (Abb. 1, Variante 8). Hier wurden im Mittel 95 % Wirkung erreicht. Eine ebenfalls gute Wirkung von im Mittel 92 % zeigte die Voraufbaukombination Sencor+Centium+Spectrum (Variante 3). Bei dieser Variante war zur Ernte teilweise allerdings doch eine hohe Restverunkrautung zu registrieren. Die Varianten mit ausschließlicher Nachaufbaubehandlung erwiesen sich alle als nicht ausreichend wirksam. Dies gilt auch für die NAK-Varianten (VG 15 und 16).

Bei der Betrachtung der Wirkung gegen die einzelnen Unkrautarten (Abb. 2 – 4) fallen dann deutliche Schwächen bzw. Wirkungsstärken der verschiedenen Varianten auf. Gegen den Weißen Gänsefuß sind die NAK-Varianten besonders schwach. Alle Applikationsfolgen (VA + NA) sowie die Splittingvariante Harmony + Basagran (VG 9) bekämpfen den Weißen Gänsefuß im Mittel mit deutlich über 90 %. Pulsar bzw. Pulsar+Basagran im ausschließlichen Nachaufbau sind in den hier angewandten Aufwandmengen gegen den Weißen Gänsefuß nicht wirkungssicher. Gegen das

Klettenlabkraut weisen viele Herbizidvarianten eine große Wirkungsstreuung auf. Ausreichend wirksam und auch sicher in der Bekämpfungsleistung sind die Voraufaufwendungen von Centium und die Applikationsfolgen Spectrum+Stomp (VA) + Pulsar bzw. Pulsar+Basagran im Nachaufauf. Pulsar allein zeigt eine nicht ausreichende Klettenlabkrautwirkung. Dahingegen sind bei der Wirksamkeit gegenüber dem Schwarzen Nachtschatten alle Varianten, die das Pulsar beinhalten, auch im NAK-Konzept sehr wirkungssicher (> 95 %). Alle anderen Varianten fallen doch recht deutlich in der Wirkung ab und sind nicht ausreichend. Gerade der Schwarze Nachtschatten muss in Soja konsequent bekämpft werden, da bereits bei geringem Besatz die Erntefeuchte signifikant erhöht wird und ein Bestand ohne Sikkation schnell nicht beerntet werden kann.

Besonders auffällig war bei allen Unkrautarten, dass eine Tankmischung von Pulsar und Basagran zu geringeren Wirkungsgraden führte als die alleinige Anwendung der gleichen Aufwandmenge Pulsar (VG 10 und 11). Besonders auffällig war dieser Antagonismus bei der Geruchlosen Kamille (Ergebnisse nicht dargestellt). Pulsar allein erreichte hier 99 % Wirkung. Mit der Kombination von Pulsar mit Basagran fiel die Wirkung auf 20 % ab. Mit einer VA-Vorlage war dieser Antagonismus zwischen Pulsar und Basagran nicht mehr zu erkennen. Allerdings gab es hier eine Ausnahme. Die Applikationsfolgen von Stomp Aqua und Pulsar (VG 12 und 13) lagen mit 20 bzw. 50 % Wirkung auch deutlich schlechter als der Soloeinsatz von Pulsar.

Das massive Auftreten von *Abutilon theophrasti* in den Versuchen 2013 war für die geprüften Herbizidvarianten kaum ein Problem. Wirkungsgrade von >85 % wurden erreicht. Es zeigte sich lediglich, dass einige Varianten keine ausreichende Dauerwirkung aufwiesen, da dieses Unkraut über eine sehr lange Periode auflief. Reine Voraufaufvarianten waren hier benachteiligt.

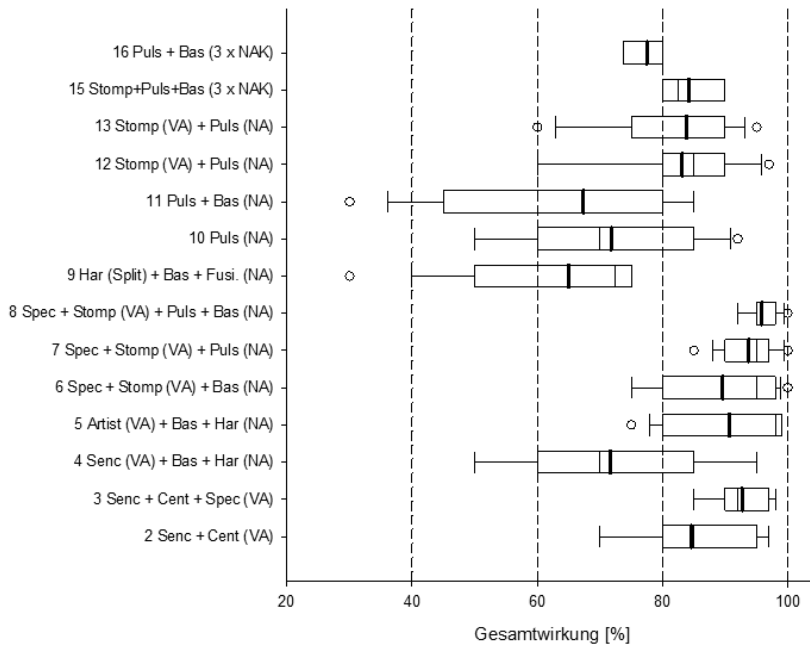


Abb. 1 Gesamtwirkung verschiedener Herbizidstrategien in Sojabohnen 4 Wochen nach der letzten Behandlung (n = 4), dünne Linie in der Box zeigt Median, dicke Linie zeigt Mittelwert.

Fig. 1 Total efficacy of different herbicide strategies in soybeans 4 weeks after last application (n = 4), thin line in box indicate median, bold line indicate mean.

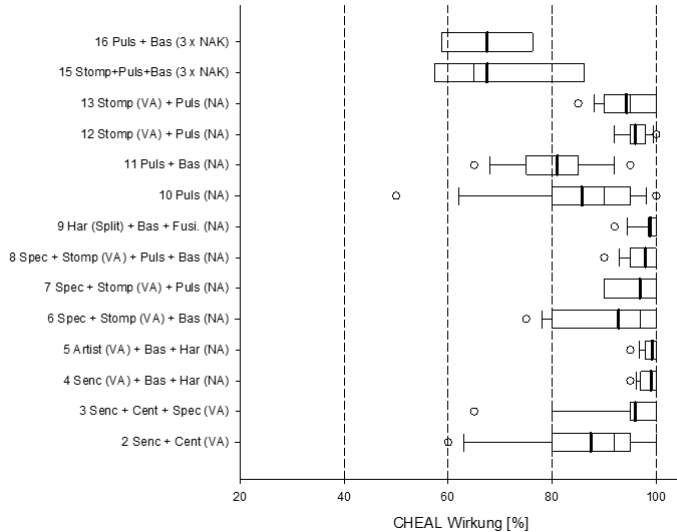


Abb. 2 Wirkung verschiedener Herbizidstrategien gegen Weißen Gänsefuß in Sojabohnen 4 Wochen nach der letzten Behandlung (n = 4), dünne Linie in der Box zeigt Median, dicke Linie zeigt Mittelwert.

Fig. 2 Efficacy of different herbicide strategies on *Chenopodium album* in soybeans 4 weeks after last application (n = 4), thin line in box indicate median, bold line indicate mean.

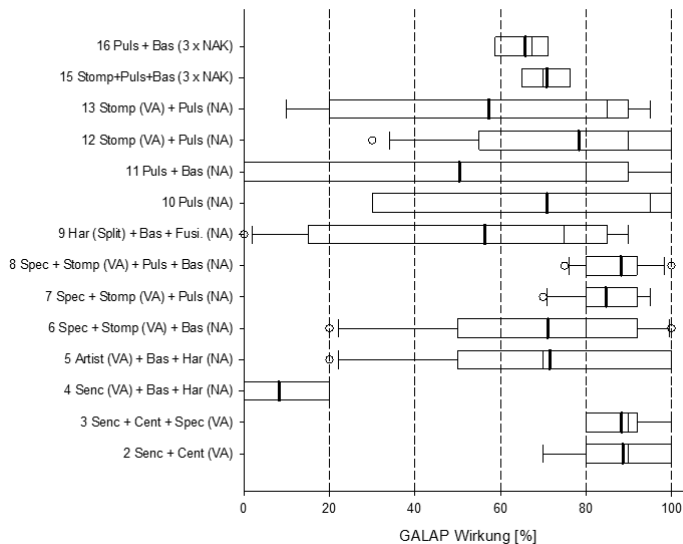


Abb. 3 Wirkung verschiedener Herbizidstrategien gegen Klettenlabkraut in Sojabohnen 4 Wochen nach der letzten Behandlung (n = 3), dünne Linie in der Box zeigt Median, dicke Linie zeigt Mittelwert.

Fig. 3 Efficacy of different herbicide strategies on *Galim aparine* in soybeans 4 weeks after last application (n = 3), thin line in box indicate median, bold line indicate mean.

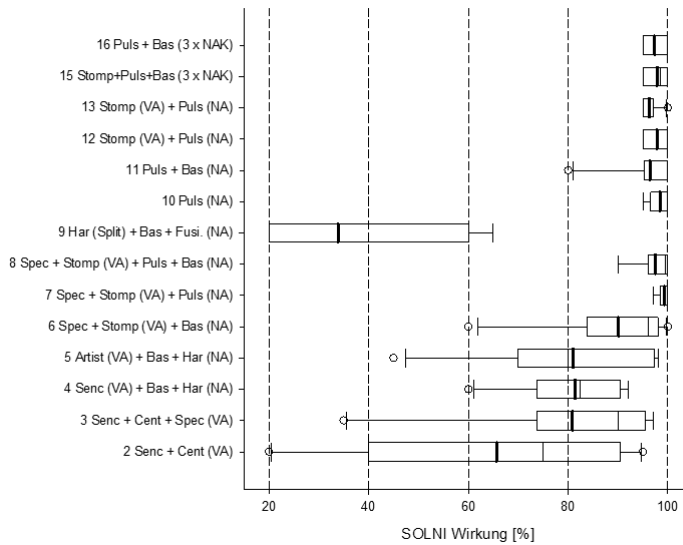


Abb. 4 Wirkung verschiedener Herbizidstrategien gegen Schwarzen Nachtschatten in Sojabohnen 4 Wochen nach der letzten Behandlung (n = 3), dünne Linie in der Box zeigt Median, dicke Linie zeigt Mittelwert.

Fig. 4 Efficacy of different herbicide strategies on *Solanum nigrum* in soybeans 4 weeks after last application (n = 3), thin line in box indicate median, bold line indicate mean.

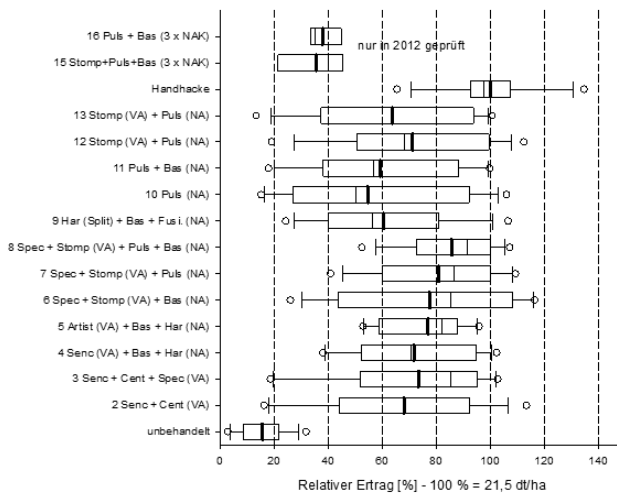


Abb. 5 Relativer Ertrag von Sojabohnen in Abhängigkeit der Herbizidstrategie (n = 4), dünne Linie in der Box zeigt Median, dicke Linie zeigt Mittelwert; Ort, Behandlung und Wechselwirkung P < 0,001.

Fig. 5 Relative soybean yield depending on herbicide strategy (n = 4), thin line in box indicate median, bold line indicate mean.

Der Ertrag (Abb. 5) zeigte im Mittel der Versuche, dass bei sich schwach entwickelnden und gleichzeitig stark verunkrauteten Fläche eine ausreichende Unkrautkontrolle nur schwer zu erreichen ist. In der mehrfach von Hand unkrautfrei gehaltenen Variante (14) wurde im Mittel 21,5 dt/ha Ertrag erzielt. Diese durch Trockenheit und schwache Feldaufgänge gekennzeichneten Versuche boten der Verunkrautung wenig Konkurrenz und führten zu stetigem Neuauflauf, besonders durch Schwarzen Nachtschatten, Weißen Gänsefuß und Lindenblättrige Schönmalve. Daher konnten die meisten geprüften Herbizidvarianten keine ausreichende Ertragssicherung gewährleisten. Am besten gelang dies durch die Applikationsfolge Spectrum+Stomp im VA gefolgt von Pulsar+Basagran im NA (8). Hier lag der durchschnittliche Ertragsverlust bei nur 15 % gegenüber der „Handhacke“. Hinzu kommt, dass die Restverunkrautung zu nicht unerheblichen Erntebehinderung geführt hat. Insbesondere in stark mit Schwarzen Nachtschatten verunkrauteten Parzellen steigt die Erntefeuchte bis auf 54 % in der Variante 2 (Sencor + Centium) gegenüber 14 bis 18 % in der unkrautfreien Variante (14). In dieser Variante war der Besatz mit Schwarzen Nachtschatten teilweise so groß, dass dieser zu einem Besatzanteil von 34 % (Trockenmasse) führte.

Diskussion

Die Versuchsergebnisse bestätigen das Eingangsstatement, dass die chemische Unkrautregulierung in konventionellen Sojabohnen nicht einfach ist. Ein sinnvoller Kompromiss zwischen einer ausreichenden herbiziden Leistung und einer guten Selektivität ist nur schwer zu finden. Witterungsabhängige Selektivitätsprobleme wie bei Stomp Aqua oder Sortenunverträglichkeiten wie bei Metribuzin machen die Unkrautkontrolle bzw. die Ertragssicherung nicht einfacher. Bei metribuzinempfindlichen Sorten sollte auf die Anwendung von Artist verzichtet werden, da die Selektivitätsprobleme dann noch größer werden können als beim alleinigen Metribuzineinsatz. Auf leichteren Standorten und bei feuchten Bodenverhältnisse bzw. erwarteten Niederschlägen bei der Voraufanwendung sollte auf die Anwendung von Stomp Aqua verzichtet werden oder die Aufwandmenge auf 1,0 l/ha begrenzt werden. Dennoch scheinen viele Herbizidanwendungen trotz teilweise guter Unkrautwirkung und ohne deutliche Kulturpflanzenschäden den Sojabohnenertrag nicht so positiv zu beeinflussen. Dieser Effekt wird beim Mitführen einer unkrautfreien Kontrolle (Handhacke) in manchen Versuchen deutlich. Ein Effekt, den auch GERHARDS (2011) beschreibt.

Der Wirkstoff Imazamox im Soloeinsatz erwies sich als hoch selektiv in Sojabohnen und verbessert die Unkrautkontrolle im Nachauflauf signifikant. Ähnliche Befunde zeigten NELSON *et al.* (1998). Besonders gut war die Wirkung von 20 g/ha Imazamox auf den Schwarzen Nachtschatten, aber auch auf den Weißen Gänsefuß und die geruchlose Kamille. Eine Wirkungsschwäche ist das Klettenlabkraut. Durch die Verwendung von Imazamox im Nachauflauf wird auch bei Anwendungen von Tankmischungen der Einsatz eines Voraufdauerherbizides bzw. einer Kombination notwendig sein. Clomazone ist hier sehr selektiv und schließt die Wirkungslücke vom Imazamox gegen das Klettenlabkraut. Die beste und breiteste Wirkung in den Versuchen wurde durch die Applikationsfolge Stomp + Spektrum gefolgt von Pulsar + Basagran erreicht. Hier besteht jedoch die beschriebene Gefahr der Pendimethalin-Schäden.

Derzeit besteht für Imazamox als Solosubstanz keine Zulassung als Herbizid in Deutschland und eine Registrierung für die Indikation Sojabohne fehlt ebenfalls. In imidazolinontoleranten Winterraps sind für die Herbstanwendung in Deutschland 12,5 g/ha in Kombination mit Quinmerac und Metazachlor zugelassen (BVL, 2013). Geprüft wurde hier Imazamox mit 20 g/ha, während international 35 g/ha auch in Soja registriert sind. Es bleibt die Hoffnung, dass die Verwendung von mindestens 20 g/ha Imazamox im Frühjahr in Soja in der Zukunft auch rechtlich möglich sein wird, um die Möglichkeiten der Unkrautkontrolle zu verbessern.

Die in 2013 erstmals erprobten NAK-Konzepte waren in der angewandten Form so nicht ausreichend wirksam. Jedoch war hier eine problemlose Anwendung von Pendimethalin im Nachauflauf möglich. Weitere Versuche sollten klären, ob durch die Anpassung der

Tankmischungen und der Aufwandmenge die Verträglichkeitsprobleme überwunden werden können und gleichzeitig eine ausreichende Wirkung erreicht wird.

Literatur

- BVL, 2013: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/01_OnlineDatenbank/psm_onlineDB_node.html
- GERHARDS, R., 2011: Gemeinschaftsversuche Baden-Württemberg 2011. Berichte aus dem Fachgebiet Herbologie der Universität Hohenheim, Heft **51**, 91-104.
- NELSON, K.A., K.A. RENNER und D. PENNER, 1998: Weed control in soybean (*Glycine max*) with imazamox and imazethapyr. *Weed Science* **46**, 587-594.

Chemische Unkrautregulierung beim Anbau von Sojabohnen (*Glycine max*, L.)

Chemical weed control in soybean (*Glycine max*, L.)

Klaus Gehring^{1*}, Thomas Festner¹, Roland Gerhards², Kerstin Hüsgen³ und Stefan Thyssen¹

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising

² Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin, Otto-Sander-Straße 5, 70599 Stuttgart

³ Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Neßlerstraße 23-31, 76227

Karlsruhe

* Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.088

Zusammenfassung

Zur Entwicklung und Überprüfung geeigneter Verfahren der chemischen Unkrautkontrolle in Sojabohnen wurde von 2010 bis 2013 vom Pflanzenschutzdienst in Bayern und Baden-Württemberg ein Feldversuchsprogramm an 28 Standorten durchgeführt. Durch den Herbizideinsatz wurde eine durchschnittliche Ertragsabsicherung von +4 dt*ha⁻¹ bzw. rel. 118 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle erzielt. Die Kulturverträglichkeit der verschiedenen Herbizidbehandlungen war weitgehend unproblematisch, lediglich die Anwendungen mit dem Wirkstoff Pendimethalin vielen durch eine tendenziell ungünstigere Verträglichkeit auf. Bei den am häufigsten auftretenden Unkrautarten erwiesen sich Klettenlabkraut (*Galium aparine*) und Winden-Knöterich (*Polygonum convolvulus*) als schwer bekämpfbar. Gegen die ebenfalls durch die verschiedenen Herbizidbehandlungen nicht ausreichend kontrollierbare Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) wurden in den Versuchen keine Graminizide zur Wirkungsunterstützung eingesetzt. Die untersuchten Herbizidbehandlungen erzielten eine Bekämpfungsleistung im Bereich von 84-97 % Gesamtwirkung. Gegenüber Gänsefuß (*Chenopodium album*), der am häufigsten aufgetretenen Unkrautart, wurden je nach Behandlungsvariante Bekämpfungsleistungen im Bereich von 83-99 % erreicht. Für die Optimierung der chemischen Unkrautkontrolle im Sojabohnenanbau ist ein Abgleich hinsichtlich des standortspezifischen Unkrautspektrums, des Wirkungsspektrums der anwendungsfähigen Herbizide und den spezifischen Anwendungsbedingungen (z. B. Witterung, Bodenverhältnisse, Anbauverfahren, ...etc.) unverzichtbar. Die ökonomische Effizienz der chemischen Unkrautregulierung konnte mit den Versuchsergebnissen bestätigt werden. Außerdem wurde im Rahmen des Lückenindikationsverfahrens für drei weitere Herbizide die Anwendung in Sojabohnen über das Genehmigungsverfahren nach Art. 51 der EU-Zulassungsverordnung ermöglicht.

Stichwörter: Ertrag, Feldversuche, Herbizide, Kulturverträglichkeit, Lückenindikation, Unkrautregulierung, Unkrautbekämpfung, Wirkung

Abstract

The plant protection service of Bavaria and Baden-Württemberg conducted from 2010 – 2013 a field trial program on different locations for the development and evaluation of chemical weed control methods in soybean. In this trials the use of herbicides enabled a yield of +4 dt*ha⁻¹ respectively 118 % in comparison to untreated control. The selectivity of herbicide applications was uncomplicated except for treatments with inclusion of Pendimethalin. Cleavers (*Galium aparine*) and black bindweed (*Polygonum convolvulus*) were harder to control than other common weeds. Cockspur grass (*Echinochloa crus-galli*) was also insufficiently controlled, but there was no additional use of specific grass weed herbicides in the application programs. The total weed control efficacy for all treatments was proved in a range of 84-97 %. Fat-hen (*Chenopodium album*) as the most important weed in soybean could be controlled by specific herbicide treatments in a range of 83-99 %. For integrated weed management it is necessary to consider the site specific weed spectrum, herbicide specific efficacy and the amount in respect to the local soil and weather conditions. As a result of the trials it was possible to authorize the minor use of three further herbicides in soybeans. In consequence there is a comfortable variety of different herbicides in soybean available.

Keywords: Efficacy, field trials, herbicide, yield, minor use program, selectivity

Einleitung

Sojabohnen (*Glycine max*), häufig auch einfach als Soja bezeichnet, zählen zu den weltweit wichtigsten Ölsaaten und dienen für eine vielfältige Verwertung als Futter- und Lebensmittel. Aufgrund der spezifischen Proteinqualität gilt Soja in bestimmten Bereichen der Tierhaltung als

unverzichtbarer Futterbestandteil. Soja hat in Deutschland bisher nur den Status einer Nischenkultur. Seit 2009 nimmt die Anbaufläche allerdings zu und erreichte in 2013 einen Anbauumfang von ca. 5500 ha in klimatisch günstigen Regionen Süddeutschlands. Verschiedene wirtschaftliche und politische Aktivitäten, wie z. B. die Initiative „Donau-Soja“, haben diese Entwicklung gefördert. Soja besitzt während der zögerlichen Jugendentwicklung nur eine geringe Konkurrenzleistung gegenüber Unkräutern. Eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung während dieser kritischen Periode (VAN ACKER *et al.*, 1993) ist daher für die Etablierung der Kultur und die Absicherung des Ertragspotenzials unverzichtbar. Neben den Möglichkeiten einer mechanischen Unkrautregulierung (GUNSOLUS, 1990) hat im konventionellen Anbau der Einsatz von geeigneten Herbiziden aus arbeitswirtschaftlichen und ökonomischen Aspekten eine hohe Bedeutung. Aufgrund verschiedener Herbizid-Resistenz-Technologien (REDDY *et al.*, 2000) hat der Einsatz von konventionell selektiven Herbiziden in den Soja-Hauptanbaugebieten nur noch eine untergeordnete Bedeutung im Zusammenhang mit der Kontrolle von herbizidresistenten Unkrautarten (ZOLLINGER *et al.*, 2013). Untersuchungen und Arbeiten zur integrierten Unkrautkontrolle (KAPUSTA, 1979; STECKEL *et al.*, 1990; BUHLER *et al.*, 1992) wurden mit der Einführung von herbizidresistenten Soja-Sorten im Wesentlichen nicht mehr weitergeführt. Aufgrund rechtlicher und gesellschaftspolitischer Gegebenheiten können im europäischen Sojaanbau keine Herbizidresistenztechniken verwendet werden, die auf eine gentechnische Veränderung der Kultursorten beruhen. Für die Entwicklung des Sojaanbaus in Deutschland sind daher an die spezifischen Anbaubedingungen angepasste, konventionelle Verfahren der chemischen Unkrautkontrolle notwendig. Aus diesem Grund hat im Jahr 2010 der Pflanzenschutzdienst in Bayern und Baden-Württemberg ein gemeinsames Entwicklungsprogramm zum Herbizideinsatz in Sojabohnen gestartet. Durch ein mehrjähriges Feldversuchsprogramm sollen effiziente und umweltschonende Verfahren der chemischen Unkrautbekämpfung entwickelt werden. Außerdem sollte über das Lückenindikationsverfahren die verfügbare Palette an zugelassenen Herbiziden erweitert werden.

Material und Methoden

Im Zeitraum von 2010 bis 2013 wurden in Bayern und Baden-Württemberg 28 Feldversuche an unterschiedlichen Standorten, das heißt in Streulage, zur Überprüfung der Wirksamkeit und der Kulturverträglichkeit von Herbizidbehandlungen im Sojabohnenanbau durchgeführt. Die Versuche erfolgten als randomisierte Exaktversuche in vierfacher Wiederholung gemäß der EPPO-Richtlinie PP 1/76(2) „Unkräuter in Futterleguminosen“ (BÖTGER *et al.*, 1999). Hierbei wurden die Versuche in Feldbeständen unter ortsüblichen Anbaubedingungen in den Sorten ALIGATOR, CORDOBA, MERLIN bzw. SULTANA angelegt. Die Herbizidbehandlungen wurden mit getragenen oder geschobenen bzw. handgeführten selbstfahrenden Pressluft-Parzellenspritzen (Arbeitsdruck 2-3 bar, Wasseraufwand 200 – 400 l*ha⁻¹) ausgebracht, die im Regelfall mit abdriftmindernden Luftinjektordüsen (z. B. Airmix 11003) ausgestattet waren.

Für die Planung, Dokumentation und Auswertung der Feldversuche wurde die Software-Anwendung PIAF benutzt (ZINK und SCHLÜTER, 1999). Soweit Ertragserhebungen vorgenommen wurden, erfolgte eine statistische Datenanalyse mit Hilfe der in PIAF integrierten parametrisierten SAS-Routinen. Aufgrund der fehlenden Orthogonalität der Versuchsserie erfolgte eine varianzanalytische Bewertung der Behandlungsvarianten allerdings nur auf der Ebene der jeweiligen Einzelversuche. Die erhobenen Boniturergebnisse zur Unkrautwirkung und Kulturverträglichkeit wurden auf der Basis der Standortmittelwerte verglichen. Für die Mittelwertvergleiche wurden die Parameter arithmetischer Mittelwert, Median und die Streuung der Standortmittelwerte in Form der Standardabweichung und Box-Plot-Charakteristik (TUKEY, 1977) herangezogen. Eine varianzanalytische Bewertung der Boniturergebnisse wurde nicht vorgenommen.

Tab. 1 In den Feldversuchen eingesetzte und bewertete Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used and evaluated in field trials.*

Handelsname	Wirkstoff, -Konzentration (g a.i. *l ⁻¹ bzw. kg ⁻¹), Formulierung	Anwendung	Status
ARTIST	Flufenacet, 240 + Metribuzin, 175, WG	VA	G
BASAGRAN	Bentazon, 480, SL	NA	G
CENTIUM 36 CS	Clomazone, 360, CS	VA	G
HARMONY SX	Thifensulfuron, 481, WG	NA	G
SENCOR WG	Metribuzin, 700, WG	VA	G
SPECTRUM	Dimethenamid-P, 720, EC	VA	G
STOMP AQUA	Pendimethalin, 455, CS	VA	G

Legende: CS = Kapselsuspension, EC = Emulsionskonzentrat, SL = wasserlösliches Konzentrat, WG = wasserlösliches Granulat

VA = vor dem Auflaufen (pre-emergence), NA = nach dem Auflaufen (post-emergence)

G = nach § 18 PflSchG bzw. Art. 51 EU-Zulassungsverordnung in Sojabohnen genehmigt (authorized)

Tab. 2 Mehrjährig überprüfte Herbizidbehandlungen.

Tab. 2 *Long-term reviewed Herbicide programs.*

Nr.	Behandlungsvariante	Aufwandmenge (l bzw. kg*ha ⁻¹)	Anwendung
1	ARTIST + CENTIUM 36 CS	2,0 + 0,2	VA
2	ARTIST + CENTIUM 36 CS / HARMONY SX + TREND	2,0 + 0,2 / 0,0075 + 0,3	VA / NA
3	SENCOR WG / BASAGRAN + HARMONY SX + TREND	0,4 / 0,75-1,0 + 0,0075 + 0,3	VA / NA
4	SPECTRUM + SENCOR WG / BASAGRAN + HARMONY SX+ TREND	1,0 + 0,3 / 0,75 + 0,0075 + 0,3	VA / NA
5	SPECTRUM + SENCOR WG + CENTIUM 36 CS	0,8 + 0,2-0,3 + 0,2-0,25	VA
6	STOMP AQUA / BASAGRAN + HARMONY SX+ TREND	1,5-2,0 / 1,0 + 0,0075 + 0,3	VA / NA
7	STOMP AQUA + SPECTRUM / BASAGRAN + MERO	1,5-2,0 + 0,75-1,0 / 1,0 + 1,0	VA / NA

Legende: VA = vor dem Auflaufen (pre-emergence), NA = nach dem Auflaufen der Kultur (post-emergence)

Ergebnisse

Die an den Versuchsstandorten aufgetretenen Leitunkräuter entsprechen dem für Sommerkulturen in Süddeutschland typischen Unkrautspektrum. Die Zusammensetzung der am häufigsten aufgetretenen Unkrautarten (Tab. 3) korreliert für die in Deutschland vorhandenen Arten relativ konsistent mit dem in europäischen Sojaanbaugebieten erhobenen Unkrautspektrum (SCHRÖDER *et al.*, 1993). Die Unkrautdichte zwischen den einzelnen Standorten variierte teilweise stark. Im Mittel über 18 beerntete Versuche konnte das durchschnittliche Ertragsniveau der unbehandelten Kontrollvariante von 29 dt*ha⁻¹ um +4 dt*ha⁻¹ im Schnitt aller Behandlungsvarianten abgesichert werden. Im Median über 182 Herbizidbehandlungen erzielte die chemische Unkrautkontrolle eine relative Ertragsabsicherung von 118 % (entspricht +18 % Ertrag gegenüber der unbehandelten Kontrolle). Die relativ hohe Streuung der Ertragsergebnisse zeigt allerdings auch den hohen Einfluss der Faktorkombination zwischen der jeweiligen Unkrautkonkurrenz, der Bekämpfungsleistung und der Kulturverträglichkeit unter den unterschiedlichen Anwendungsbedingungen. Ein Vergleich zwischen den unterschiedlichen Anwendungsvarianten bzw. Applikationsterminen und der Applikationshäufigkeit ergab keine wesentlichen Unterschiede in der Ertragsabsicherung.

Tab. 3 In den Feldversuchen aufgetretenes Unkrautspektrum.

Tab. 3 Weed spectrum in field trials.

Code	Bezeichnung	Name	Stetigkeit (%)
CHESS	<i>Chenopodium</i> spp.	Gänsefuß-Arten	28
ECHCG	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Hühnerhirse	12
MATSS	<i>Matricaria</i> spp.	Kamille-Arten	8
GALAP	<i>Galium aparine</i>	Klettenlabkraut	6
AMARE	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Rauhhaariger Fuchsschwanz	6
POLCO	<i>Polygonum convolvulus</i>	Winden-Knöterich	5
LAMSS	<i>Lamium</i> spp.	Taubnessel-Arten	4
STEME	<i>Stellaria media</i>	Vogelmiere	4
BRSNN	<i>Brassica napus</i>	Ausfallraps	4
GASPA	<i>Galinsoga parviflora</i>	Kleinblütiges Franzosenkraut	3
SOLNI	<i>Solanum nigrum</i>	Schwarzer Nachtschatten	3
CAPBP	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Hirtentäschelkraut	3
POLAV	<i>Polygonum aviculare</i>	Vogel-Knöterich	3
-	-	Sonstige	9

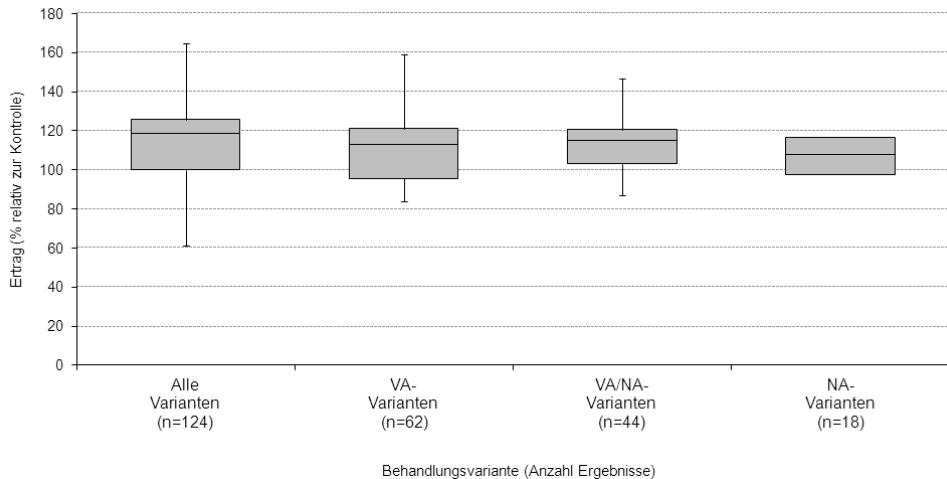


Abb. 1 Ertragsleistung (% zur unbehandelten Kontrolle) unterschiedlicher Herbizidanwendungsverfahren; Box-Plot Verteilung, 18 Feldversuche in Sojabohnen, Bayern und Baden-Württemberg 2010 – 2013.

Fig. 1 Yield (% in comparison to untreated) of different herbicide treatment methods; box-plot distribution, 18 field trials in soybean, Bavaria and Baden-Württemberg 2010 – 2013.

An 25 Standorten wurden temporäre Effekte unterschiedlicher Kulturunverträglichkeiten in Folge der Herbizidbehandlungen festgestellt. Die Bonituren der unterschiedlichen Phytotox-Merkmale (Chlorosen, Nekrosen, Wuchshemmung, Stauchung, Deformationen, etc.) lagen in der Größenordnung von weniger als 10 %. Demgegenüber wurden bei Behandlungsvarianten, die das Präparat STOMP AQUA (Pendimethalin) beinhalteten, tendenziell höhere Phytotox-Symptome festgestellt. Der für die Kulturverträglichkeit belastende Effekt von Pendimethalin-haltigen Behandlungen zeigte sich noch deutlicher an dem an 12 Standorten aufgetretenen und

bonitierten Schadmerkmal der Ausdünnung bzw. des Pflanzenverlustes. Im Median waren die Pflanzenverluste durch Ausdünnung in Varianten ohne STOMP AQUA bzw. Pendimethalin (3 %) gegenüber Pendimethalin-haltigen Anwendungen (9 %) um den Faktor 3 erhöht.

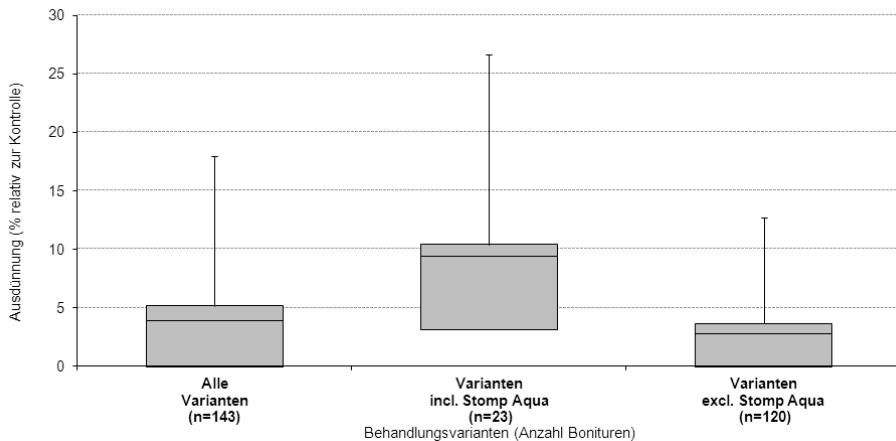


Abb. 2 Kulturunverträglichkeit (% Ausdünnung) in Abhängigkeit von der Herbizidausstattung; Box-Plot Verteilung, 25 Feldversuche in Sojabohnen, Bayern und Baden-Württemberg 2010 – 2013.

Fig. 2 Selectivity (% thinning) according to the herbicide configuration; box-plot distribution, 25 field trials in soybean, Bavaria and Baden-Württemberg 2010 – 2013.

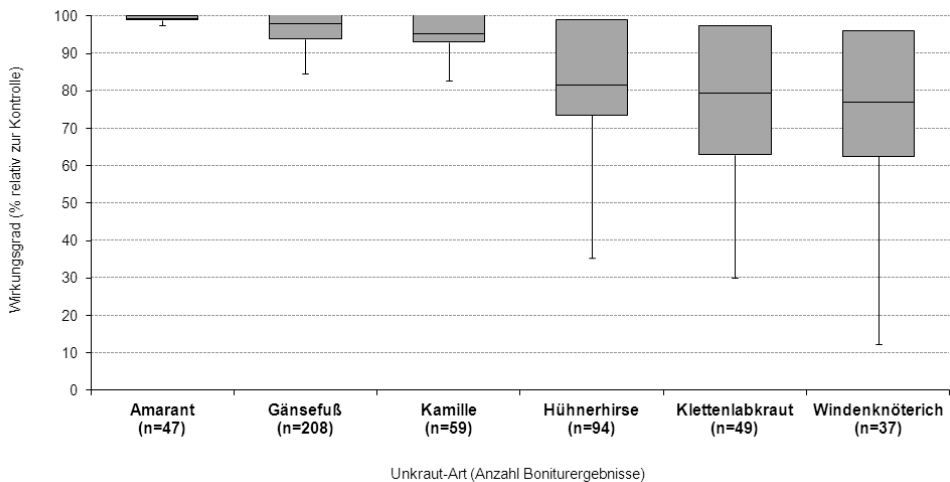


Abb. 3 Herbizidleistung (% Wirkungsgrad) gegenüber den häufigsten Unkrautarten in Sojabohnen; Box-Plot Verteilung, 28 Feldversuche, Bayern und Baden-Württemberg 2010 – 2013.

Fig. 3 Herbicide performance (% efficacy) for the control of most common weeds in soybean; box-plot distribution, 28 field trials, Bavaria and Baden-Württemberg 2010 – 2013.

Die über alle Behandlungsvarianten festgestellten Bekämpfungsleistungen gegenüber den sechs häufigsten Leitunkrautarten variierten je nach Unkrautart deutlicher (Abb. 3). Nach diesen Ergebnissen kann Amaranth (*Amaranthus retroflexus*) als sehr gut mit den im Versuchsprogramm eingesetzten Herbizidkombinationen bekämpfbar eingestuft werden. Gänsefuß-Arten (*Chenopodium* spp.) und Kamille-Arten (*Matricaria* spp.) wurden ausreichend sicher durch die

verschiedenen Herbizidbehandlungen kontrolliert, während sich Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), Klettenlabkraut (*Galium aparine*) und Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*) als schwer bekämpfbar zeigten. Hinsichtlich der Bekämpfungsfähigkeit der Hühnerhirse muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die verschiedenen Behandlungsvarianten nicht durch verfügbare, selektive Graminizide ergänzt wurden. Die Bekämpfungsleistungen gegen Hühnerhirse stützen sich vielmehr ausschließlich auf die Gräserwirkung der jeweils eingesetzten Breitband- bzw. Bodenherbizide.

Hinsichtlich der behandlungsspezifischen Unkrautwirkung konnten über alle Versuche und Behandlungsvarianten ein mittlerer Wirkungsgrad von 87 % gegenüber der jeweiligen, standortspezifischen Leitverunkrautung erreicht werden. Sieben verschiedene Behandlungsvarianten (Tab. 2), die an mindestens sieben Versuchsstandorten und drei Versuchsjahren geprüft wurden, konnten vergleichend ausgewertet werden. Die Auswertung der Gesamtwirkung (Abb. 4) zeigt einen moderat abfallenden Trend über die Mehrfach-Spritzfolgekombination [Variante 4] Spectrum + Sencor WG / Basagran + Harmony SX (97 % mittlere Gesamtwirkung) bis zur Variante [6] Stomp Aqua / Basagran + Harmony SX (84 % mittlere Gesamtwirkung). Aufgrund der nicht orthogonalen Datengrundlage wurde allerdings keine differenzierte Bewertung der Gesamtunkrautwirkung zwischen den verschiedenen Behandlungsvarianten vorgenommen.

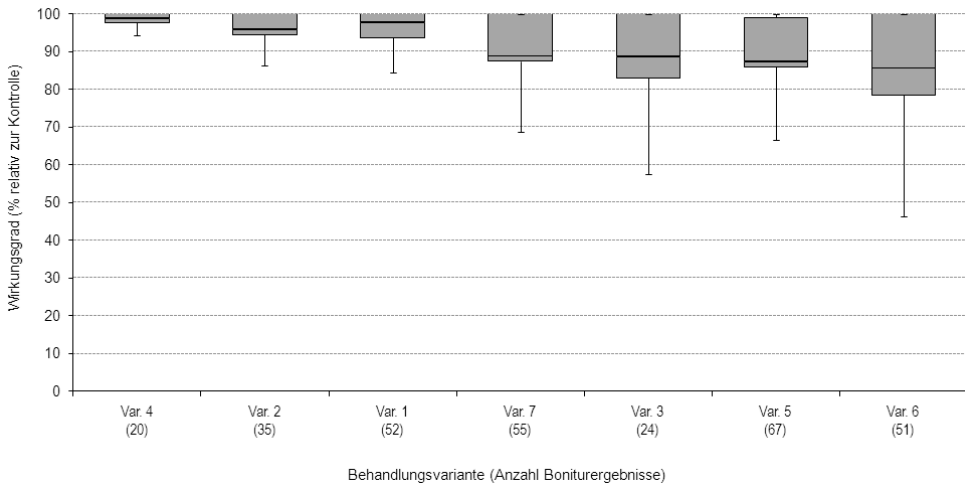


Abb. 4 Herbizidleistung (% Wirkungsgrad) gegen verschiedene Leitunkräuter je nach Präparatekombination und Anwendungsverfahren; Box-Plot Verteilung, 28 Feldversuche, Bayern und Baden-Württemberg 2010 – 2013.

Fig. 4 Herbicide efficacy (%) against different weeds according to herbicide combination and treatment; box-plot distribution, 28 field trials, Bavaria and Baden-Württemberg 2010 – 2013.

Eine weitere, vergleichende Auswertung wurde für die anwendungsspezifische Bekämpfungsleistung gegen Weißen-Gänsefuß (*C. album*), dem am häufigsten aufgetretenen Leitunkraut, vorgenommen. Hinsichtlich der mittleren Gänsefuß-Wirkung und der Streubreite der Einzelergebnisse sind deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Behandlungsvarianten aufgetreten. Im Mittel aller Varianten konnte eine ausreichende Gänsefuß-Wirkung von durchschnittlich 95 % erzielt werden. Bei einzelnen Behandlungsvarianten traten hohe Abweichungen zwischen den Einzelergebnissen auf (Varianten Nr. 1, 3, 5). Die hieraus resultierenden mittleren Wirkungsgrade ermöglichen nur noch eine knapp ausreichende (Nr. 1) bzw. nicht mehr befriedigende Gänsefuß-Wirkung (Nr. 3, 5). Die Streuung der Bekämpfungsleistungen deutet allerdings auch darauf hin, dass die Wirkungssicherheit von den

je-weiligen Standortbedingungen (Witterung, Besatzdichte, etc.) stark beeinflusst wird. Hinsichtlich der Absicherung der Wirkung und der absoluten Wirkungsleistung sind Effekte im Bezug auf die spezifische Wirkstoffausstattung (vergl. Nr. 3 und 6) und der Wirkstoffergänzung (vergl. Nr. 1 und 2, bzw. Nr. 3 und 4) deutlich erkennbar.

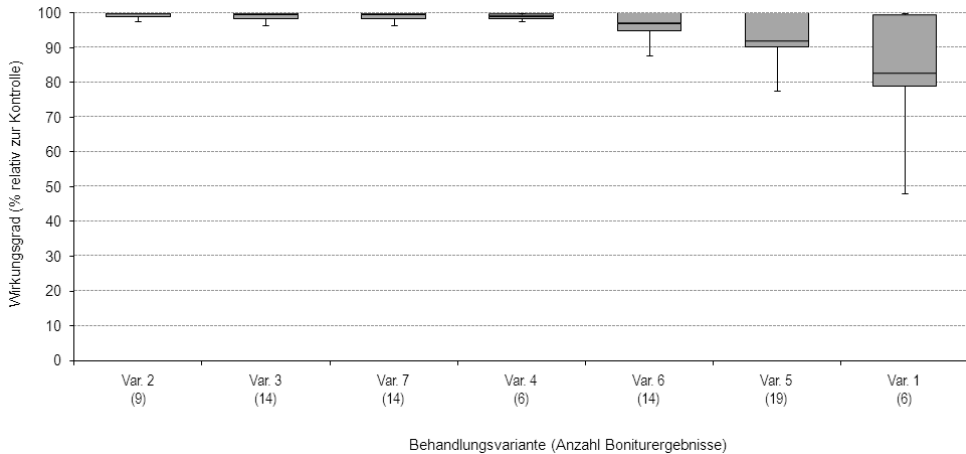


Abb. 5 Wirkung (%) gegen Gänsefuß (*C. album*) je nach Herbizidbehandlung; Box-Plot Verteilung, 28 Feldversuche, Bayern und Baden-Württemberg 2010 – 2013.

Fig. 5 Efficiency (%) for the control of Fat-hen (*C. album*) according to different herbicide treatments; box-pot distribution, 28 field trials, Bavaria and Baden-Württemberg 2010 – 2013.

Diskussion

Sojabohnen sind aufgrund des Anbaus als Reihenkultur und der zögerlichen Jugendentwicklung mit einer längeren Periode bis zum Reihen- bzw. Bestandsschluss relativ empfindlich gegenüber Unkrautkonkurrenz (VAN ACKER *et al.*, 1993). In Abhängigkeit vom Unkrautspektrum und der Unkrautbesatzdichte wurde in den Feldversuchen durch unterschiedliche Herbizidbehandlungen eine Ertragsleistung von durchschnittlich + 4 dt*ha⁻¹ abgesichert.

Bei den umfangreich geprüften Herbiziden bzw. Herbizid-Kombinationen wurde kein wesentlicher Unterschied in der Gesamt-Unkrautwirkung festgestellt. Gegenüber den eingesetzten Wirkstoffen bzw. Wirkstoffkombinationen zeigten sich Klettenlabkraut und Winden-Knöterich als schwer bekämpfbar. Bei einem stärkeren Besatz mit Hühnerhirse benötigen die Breitbandbehandlungen eine Ergänzung durch ein selektives Graminizid. Hinsichtlich der Kulturverträglichkeit zeigten die Anwendungen mit dem Wirkstoff Pendimethalin eine tendenziell negative Auffälligkeit, was insbesondere auch eine nachhaltige Kulturschädigung durch Ausdünnung bzw. Pflanzenverluste betraf. Für die Anbaupraxis ist eine Optimierung des Herbizideinsatzes durch die Anpassung der Herbizidauswahl, die Präparatekombination und die Aufwandmengengestaltung entsprechend der standortspezifischen Unkrautflora, der Unkrautbesatzdichte und den Anwendungsbedingungen möglich. Dementsprechend können reine Voraufaufbehandlungen oder Kombinationen aus Vor- und Nachaufaufbehandlungen für eine ausreichende Unkrautkontrolle erforderlich werden.

Auf der Basis der durchgeführten Feldversuche konnte die Anwendung der Präparate ARTIST, CENTIUM 36 CS und SPECTRUM um den Einsatz in Sojabohnen im Rahmen des Lückenindikationsverfahrens (Art. 51 EU-Zulassungsverordnung) erweitert werden. Der Anbaupraxis steht somit eine ausreichend große Präparatepalette für eine gezielte chemische Unkrautkontrolle im Sojabohnenanbau zur Verfügung.

Literatur

- BÖTGER, H., A. BRINK, B. BROSCHEWITZ, T. EGGERS, G. HEIDLER, H. NORDMEYER, A. SCHÖNHAMMER, U. STECK, C. M. TRÖLTZSCH und P. ZWERGER, 1999: Eppo-Richtlinie PP 1/76(2) – Unkräuter in Futterleguminosen. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig, 12 S.
- BUHLER, D. D., J. L. GUNSOLUS und D. F. RALSTON, 1992: Integrated weed management techniques to reduce herbicide inputs in soybean. *Agron. J.*, **84**, 973-978.
- GEHRING, K. und S. THYSSEN, 2013: Unkrautkontrolle in Sojabohnen. Online, <http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/030191/index.php>
- GUNSOLUS, J. L., 1990: Mechanical and cultural weed control in corn and soybeans. *American Journal of Alternative Agriculture* **5(03)**, 114-119.
- KAPUSTA, G., 1979: Seedbed Tillage and Herbicide Influence on Soybean (*Glycine max*) Weed Control and Yield. *Weed Science* **27(5)**, 520-526.
- REDDY, K. N. AND K. WHITING, 2000: Weed Control and Economic Comparisons of Glyphosate-Resistant, Sulfonyleurea-Tolerant, and Conventional Soybean (*Glycine max*) Systems. *Weed Technology* **14(1)**, 204-211.
- SCHRÖDER, D., H. MÜLLER-SCHÄRER UND C. S. A. STINSON, 1993: A European weed survey in 10 major crop systems to identify targets for biological control. *Weed Research* **33**, 449-458.
- STECKEL, L. E., M. S. DEFELICE AND B. D. SIMS, 1990: Integrating Reduced Rates of Postemergence Herbicides and Cultivation for Broadleaf Weed Control in Soybeans (*Glycine max*). *Weed Science* **38(6)**, 541-545.
- TUKEY, J. W., 1977: *Exploratory data analysis*. London, Addison-Wesley, XVI, 688 p.
- VAN ACKER, R. C., C. J. SWANTON, AND S. F. WEISE, 1993: The critical period of weed control in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Weed Sci.* **41**, 194-200.
- ZINK, G., H. SCHLÜTER, 1999: PIAF – Planing, Information and Analysis System for Field Trials. In: IT Applications for the Agricultural Extension Service with regard to the Federal Structure of the Administration Organization in Germany. Referate 20. GILJahrestagung & EFITA/99, Bonn, 26-41.
- ZOLLINGER, R., *et al.*, 2013: North Dakota Weed Control Guide – Soybeans. Online, www.ag.ndsu.edu/publications, 25-31.

Beeinflussung des Unkrautwachstums durch Fungizide

Impact of fungicides on weed growth

Henning Nordmeyer

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11-12,
38104 Braunschweig
henning.nordmeyer@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.089

Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass Fungizide das Wachstum von Unkräutern beeinträchtigen und somit die Konkurrenzkraft gegenüber Kulturpflanzen schwächen. Es wurden Biotestversuche in Klima-Lichtschränken und Mikroplotversuche unter Halfreilandbedingungen durchgeführt, um Auswirkungen von Fungizidbehandlungen auf das Wachstum von Unkräutern zu untersuchen. Untersucht wurden ausgewählte Unkrautarten (*Alopecurus myosuroides*, *Viola arvensis*, *Galium aparine*, *Stellaria media*, *Lamium purpureum*) sowie verschiedene Fungizide (Adexar, Bravo 500, Diamant, Cuprozin flüssig) in mehreren Aufwandmengen. Dabei zeigten die Unkrautarten eine unterschiedliche Empfindlichkeit. Es kam zu Blattverfärbungen, Stauchungen und allgemeinen Wuchshemmungen. Zum Teil konnten bei praxisüblichen Fungizidaufwandmengen Wuchsdepressionen von mehr als 70 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle 14 Tage nach der Anwendung festgestellt werden. Im Biotest waren die Auswirkungen stärker ausgeprägt als im Halfreilandversuch.

Stichwörter: Epoxiconazol, Fungizidbehandlungen, Konkurrenz, Pflanzenschädigung, Unkrautarten

Abstract

The study has shown that fungicides influence the growth of weeds. The competition against crops will be substantially reduced. Bioassays in a climate chamber variation in temperature as well as different lighting phases and microplot trials under semi field levels were carried out to investigate the influence of fungicides on weed growth. Selected weed species (*Alopecurus myosuroides*, *Viola arvensis*, *Galium aparine*, *Stellaria media*, *Lamium purpureum*) have been examined with different dose rates of fungicides (Adexar, Bravo 500, Diamant, Cuprozin flüssig). Weed species showed a different sensitivity. There were leaf discoloration, contractions and growth inhibition. In some cases using common practise dose rates of fungicides more than 70% growth inhibition could be estimated 14 days after application in comparison to the untreated control. Effects were much stronger in bioassays than in semi field trials.

Keywords: Competition, epoxiconazole, fungicide treatment, plant damage, weed species

Einleitung

Fungizide werden in der Landwirtschaft zur Bekämpfung pilzlicher Erkrankungen bei Pflanzen breit eingesetzt. Insgesamt sind 137 Fungizide in Deutschland zugelassen (BVL, 2013). Die Fungizide sind unterschiedlichen chemischen Gruppen zuzuordnen. Die Wirkstoffmengen die im Jahr 2012 abgegeben wurden, lagen bei 9066 Tonnen. Das entsprach einem Anteil von 19,6 % an der gesamten deutschen Pflanzenschutzmittelwirkstoffmenge (BVL, 2013). Neben der fungiziden Wirkung ist eine wachstumsregulierende Aktivität von einigen Fungiziden seit langem bekannt (BENTON und COBB, 1993). Untersuchungen von BENTON und COBB (1995) belegen die Wirkung des Wirkstoffes Epoxiconazol auf *Galium aparine*. Auch NIEMANN (1994) konnte Wuchsbeeinflussungen bei Unkräutern nach Fungizidanwendungen zeigen. Untersucht wurden Fungizide aus den Wirkstoffgruppen Benzimidazole, Morpholine und Azole. Die auftretenden Effekte waren art-, stadien- und wirkstoffspezifisch. KANE und SMILEY (1983) konnten zeigen, dass systemische Fungizide sichtbare Veränderungen in der Pflanzenmorphologie bei *Poa pratensis* hervorrufen. WATT (1983) untersuchte in Gewächshausversuchen die herbizide Wirkung des Fungizids Tridemorph auf *Holcus lanatus* und *Bromus sterilis*.

Die Anwendung von Fungiziden erfolgt in der landwirtschaftlichen Praxis im Getreide entsprechend der Zulassung in Deutschland ab dem Entwicklungsstadium BBCH 21. Zu diesem Zeitpunkt können auch noch Herbizidmaßnahmen im Nachauflauf erfolgen. Daraus ergeben sich

möglicherweise Kombinationseffekte die bisher zu wenig beachtet wurden. Zur Prüfung einer möglichen herbiziden Wirkung von Fungiziden wurden gezielte Biotest- und Halbfreilandversuche mit mehreren Unkrautarten und Fungiziden aus verschiedenen Wirkstoffgruppen sowie mit unterschiedlichen Aufwandmengen durchgeführt.

Material und Methoden

Zur Untersuchung der Auswirkungen von Fungizidbehandlungen auf Unkräuter wurden 2012 und 2013 Biotestversuche sowie Mikroplotversuche unter Halbfreilandbedingungen durchgeführt.

Biotest

Für die Versuche wurde 300 g JKI-Standardboden (C_{org} 1,02 %; pH 6,7; Sand 52,5 %; Schluff 41,0 %; Ton 6,5 %) in Testgefäße gefüllt und die zuvor ausgesäten Unkräuter im 1 bis 2-Blattstadium pikiert. Die Unkrautpflanzen wurden in Keimschalen vorgezogen. Die Applikation der Fungizide erfolgte im 2 bis 3-Blattstadium der Pflanzen. Die Versuchsgefäße wurden im Klimalichtbrutschrank (20/10 °C bei 16 Stunden Licht) in vierfacher Wiederholung randomisiert aufgestellt. 14 Tage nach der Applikation erfolgte eine Bonitur und Frischmassebestimmung der Pflanzen.

1. Versuch: Es wurden die Fungizide Adexar (Wirkstoffe: Epoxiconazol, Fluxapyroxad), Bravo 500 (Wirkstoff: Chlorthalonil), Diamant (Wirkstoffe: Pyraclostrobin, Epoxiconazol, Fenpropimorph) sowie Cuprozin flüssig (Wirkstoff: Kupferhydroxid) geprüft. Die Aufwandmengen (100 %) betragen für Adexar 2,0 l/ha, für Bravo 500 2,0 l/ha, für Diamant 1,75 l/ha und für Cuprozin 2,5 l/ha. Als Unkrautarten wurden *Viola arvensis* (VIOAR), *Galium aparine* (GALAP), *Stellaria media* (STEME) und *Alopecurus myosuroides* (ALOMY) ausgewählt.

2. Versuch: In einem zweiten Versuch wurden verschiedene Aufwandmengen (0; 12,5; 25; 50; 100 und 200 % der zugelassenen Aufwandmenge) von Adexar und Diamant untersucht und eine Dosis-Wirkungsbeziehung ermittelt. Als Unkrautarten wurden *Viola arvensis* (VIOAR) und *Galium aparine* (GALAP) ausgewählt.

Mikroplotversuche

Für die Anlage der Halbfreilandversuche wurde Sommerweizen in Mikroplotgefäße (10 l-Behälter, Oberfläche 500 cm²) gesät (Sorte Scirocco, 16 Pflanzen pro Behälter = 320 Samen/m²). Die Unkräuter (VIOAR, STEME, GALAP) wurden eingepflanzt (4 Pflanzen/Behälter) Im 2 bis 3-Blattstadium der Unkräuter wurden die Fungizide Adexar, Diamant und Opus (Wirkstoff: Epoxiconazol) in einfacher (100 %) und doppelter (200 %) Aufwandmenge appliziert. Die Versuche wurden praxisüblich gedüngt. Während der Vegetationsperiode wurden Unkrautbonituren durchgeführt. Zu Versuchsende wurde der Ertrag der Kulturpflanzen und der Unkräuter ermittelt (Frisch- und Trockenmasse).

Auswertung

Die Auswertung der Versuche erfolgte durch visuelle Bonitur (Schädigungsgrad im Vergleich zur Kontrolle) sowie anhand der Bestimmung des Frisch- und Trockenmassegewichtes der Pflanzen pro Behälter bzw. Topf im Vergleich zur Kontrollvariante ohne Fungizid. Die statistische Auswertung der Mikroplotversuche wurde mit Statgraphics centurion, Version XV, durchgeführt (Mittelwertvergleiche, Tukey $\alpha = 0,05$). Bioteste wurden mit einem Excel Makro (Version 2.651) ausgewertet (ONOFRI, 2005) und ED-Werte berechnet.

Ergebnisse

Im Biotest zeigte sich, dass die untersuchten Unkrautarten sehr unterschiedlich auf die Fungizidbehandlungen reagieren (Tab.1). VIOAR reagierte bei allen geprüften Fungiziden (Adexar, Bravo 500, Diamant, Cuprozin) am empfindlichsten. Bei Diamant und Adexar lag der Frischmasseertrag 14 Tage nach der Anwendung lediglich bei 11,9 bzw. 26,4 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Die Pflanzen zeigten ein geringeres Wachstum (gedrungener Wuchs),

Blattaufhellungen sowie teilweise dunkelgrüne Blattfarbe und eine wachsartige Oberfläche (z.B. STEME). GALAP reagierte empfindlich auf Diamant und Adexar, während bei Bravo 500 und Cuprozin keine Unterschiede im Frischmasseertrag im Vergleich zur Kontrolle festzustellen waren. Bei STEME konnte eine Wuchsförderung bei Bravo 500 nachgewiesen werden. Dies zeigte sich auch bei ALOMY für Adexar und Bravo 500. Insgesamt reagierte ALOMY am unempfindlichsten auf die Fungizide (Tab. 1).

Tab. 1 Frischmasseertrag (relativ zur unbehandelten Kontrolle) der Unkrautarten nach Applikation von Fungiziden im 2-3 Blattstadium. Standardabweichung in Klammern.

Tab. 1 Fresh matter yield (relativ to untreated control) of weed species after application of fungicides in 2-3 leaf growth stage. Standard deviation in brackets.

Unkrautart/Fungizid	Adexar	Bravo 500	Diamant	Cuprozin
VIOAR	26,4 (8,48)	66,9 (33,10)	11,9 (2,67)	43,7 (3,33)
GALAP	45,9 (5,98)	98,2 (14,80)	30,4 (7,41)	101,9 (15,54)
STEME	75,8 (16,88)	126,4 (13,81)	52,0 (8,40)	94,6 (3,91)
ALOMY	107,9 (4,41)	130,0 (9,00)	84,0 (9,13)	67,9 (6,36)

In Abbildung 1 ist die Dosis-Wirkungsbeziehung von Adexar für zwei Unkrautarten dargestellt. Für VIOAR und GALAP kann eine eindeutige dosisabhängige Wirkung gezeigt werden, wobei VIOAR deutlich stärker reagiert. Bereits bei einer Aufwandmenge von 12,5 % der praxisüblichen Aufwandmenge wird der Frischmasseertrag auf unter 60 % reduziert. Bei der höchsten Aufwandmenge lag der Frischmasseertrag bei weniger als 20 % im Vergleich zur Kontrolle. Aus diesen Dosis-Wirkungsverläufen wurden ED₁₀, ED₃₀ und ED₅₀-Werte berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Die ED-Werte für VIOAR und GALAP unterschieden sich deutlich. VIOAR reagierte deutlich empfindlicher auf Adexar als GALAP. Bei VIOAR wurde der ED₅₀-Wert bereits bei 20,4 % (entsprechend 0,41 l/ha) der praxisüblichen Aufwandmenge erreicht, während er bei GALAP bei 109,7 % (entsprechend 2,19 l/ha) der Aufwandmenge lag.

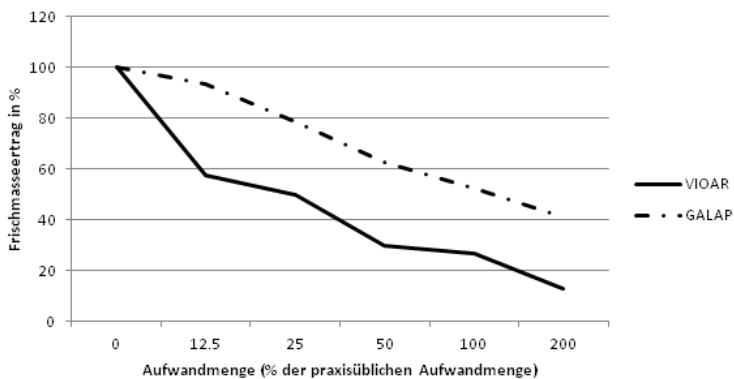


Abb. 1 Auswirkungen von unterschiedlichen Aufwandmengen von Adexar auf das Wachstum (Frischmasseertrag) von *Viola arvensis* und *Galium aparine*.

Fig. 1 Impact of different dose rates of Adexar on growth of *Viola arvensis* and *Galium aparine* (fresh matter).

Tab. 2 Wirkung von Adexar auf VIOAR und GALAP - ED-Werte.

Tab. 2 Efficacy of Adexar on VIOAR and GALAP - ED-values.

ED-Werte	VIOAR	GALAP
Adexar		
ED ₁₀	1,1	8,3
ED ₃₀	6,7	40,5
ED ₅₀	20,4	109,7

Auch im Halbfreilandversuch konnte eine herbizide Wirkung der Fungizide festgestellt werden. Bei VIOAR traten nach der Applikation violette bis bräunliche Blattverfärbungen sowie vereinzelt Blattaufhellungen auf. Außerdem konnte eine Wuchsdepression beobachtet werden. Abbildung 2 zeigt die Auswirkungen verschiedener Fungizide auf das Wachstum von *Viola arvensis*. Dargestellt ist der relative Trockenmasseertrag zur unbehandelten Kontrolle. Es wurde in allen Fällen eine Reduzierung des Trockenmasseertrages festgestellt. Bei Anwendung der maximal zugelassenen Aufwandmenge lag der Trockenmasseertrag zwischen 67,5 und 76,4 %. Der stärkste Rückgang ist nach der Anwendung von Opus festzustellen. Bei der doppelten zugelassen Aufwandmenge sind die Trockenmasseerträge in allen Fällen niedriger. Sie liegen zwischen 46,4 und 63,3 %. Hier ist der stärkste Rückgang bei Diamant festzustellen. Insgesamt wiesen die Versuchsergebnisse eine hohe Streuung auf. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle nachgewiesen werden.

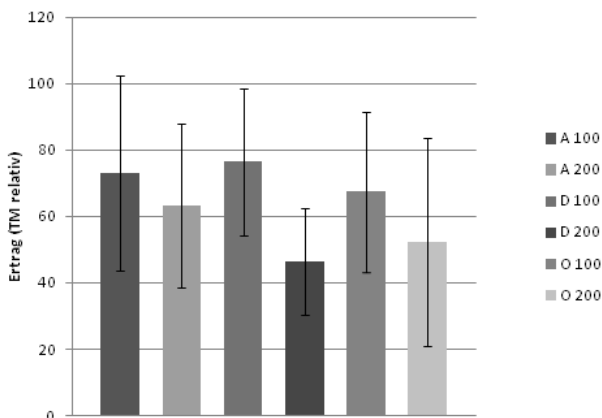


Abb. 2 Auswirkungen von verschiedenen Fungiziddosierungen auf das Wachstum von *Viola arvensis*. (Trockenmasse, relativ zur unbehandelten Kontrolle). Fungizide: A = Adexar; D = Diamant; O = Opus.

Fig. 2 Impact of different fungicide doses on growth of *Viola arvensis* (Dry matter, in comparison to untreated control). Fungicides: A = Adexar; D = Diamant; O = Opus.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass Fungizide das Wachstum von Unkräutern beeinflussen können. Dies bestätigt die Ergebnisse von NIEMANN (1994) sowie BENTON und COBB (1995). Dabei zeigten die geprüften Unkrautarten eine unterschiedliche Empfindlichkeit. Bei den eingesetzten Fungiziden reagierte Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) unempfindlicher als dikotyle Unkrautarten. Aber auch fungizidempfindliche dikotyle Unkrautarten reagieren nicht immer einheitlich (NIEMANN, 1994), wie anhand der vorliegenden Versuche bestätigt werden konnte.

Es bleibt zu klären, ob herbizide Wirkungen von Fungiziden bei einer Unkrautbekämpfung zur Reduzierung der Herbizidaufwandmenge genutzt werden können. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass unter Praxisbedingungen Fungizidanwendungen z. B. im Getreide erst ab dem Entwicklungsstadium BBCH 25 erfolgen, während eine Unkrautbekämpfung zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführt wird. Im Winterraps dagegen wird z. B. Tilmor (Wirkstoffe Prothioconazol und Tebuconazol) zur Bekämpfung der Wurzelhals- und Stängelfäule sowie zur Erzielung der Winterfestigkeit bereits ab Entwicklungsstadium BBCH 12 eingesetzt. Damit ergeben sich hier zeitgleiche Anwendungsfenster für Herbizide und Fungizide und damit mögliche Kombinationseffekte. Die Untersuchungen sollen mit weiteren in der Praxis angewendeten Fungiziden fortgesetzt werden.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei Annika Behme und Jens-Michael Behrens für die Betreuung der Versuche.

Literatur

- BENTON, J.M. und A.H. COBB, 1993: The plant growth regulator activity of the fungicide BAS 480F. *Pesticide Science* **39**, 357-369.
- BENTON, J.M. und A.H. COBB, 1995: The plant growth regulator activity of the fungicide, epoxiconazole, on Galium aparine L. (cleavers). *Plant Growth Regulation* **17**, 149-155.
- BVL, 2013: Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2012. www.bvl.bund.de/infopsm.
- KANE, R.T. und R.W. SMILEY, 1983: Plant growth regulating effects of systemic fungicides applied to Kentucky Bluegrass. *Agronomy Journal* **75**, 469-473.
- NIEMANN, P., 1994: Auswirkungen von Getreidefungiziden auf einige Ackerunkrautarten. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.*, **46**, 126-133.
- ONOFRI, A., 2005: Bioassay97: A new Excel VBA macro to perform statistical analyses on pesticide dose-response data. *Rivista Italiana di Agrometeorologia* **3**, 40-45.
- WATT, T.A., 1983: The fungicide tridemorph as a selective herbicide for the control of *Holcus lanatus* in ryegrass and of *Bromus sterilis* in barley. *Weed Research* **23**, 267-271.

Herbizid-Frühjahrsbehandlungen zur Bekämpfung von Trespens-Arten (*Bromus* spp.) in Wintergetreide

Herbicide spring treatments for the control of brome grasses (Bromus spp.) in winter cereals

Klaus Gehring^{1*}, Thomas Festner¹, Stefan Thyssen¹ und Hans-Jürgen Wöppel²

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising

² Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Würzburg, Von-Luxburg-Straße 4, 97074 Würzburg

*Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.090

Zusammenfassung

In einer Versuchsserie mit drei Feldversuchen im Raum Nordwestbayern-Franken wurde von 2010 bis 2012 die Leistungsfähigkeit verschiedener Behandlungen mit Herbiziden aus der Gruppe der Acetolactat-Synthase (ALS)-Inhibitoren (Herbicide Resistance Action Committee (HRAC)-Wirke Mechanismusgruppe: B) zur Bekämpfung von Trespens-Arten (*Bromus* spp.) untersucht. Die Versuchsergebnisse bestätigten die hohe Vorzüglichkeit des Standardherbizids Attribut (Propoxycarbazone) für die Trespens-Bekämpfung. In Fällen mit einem Mischbesatz mit Trespens und Acker-Fuchsschwanz als Leitungsgräser, zeigte sich das Präparat Broadway (Pyroxsulam) als besonders vorzüglich für eine optimale Bekämpfung. Die ausreichende Bekämpfung von Trespens in Wintergetreide bzw. Winterweizen ist damit allerdings von der nachhaltig sicheren Wirksamkeit von Herbiziden, die als ALS-Inhibitoren wirken, abhängig. Aufgrund des hohen Resistenzrisikos von Trespens-Arten, insbesondere gegenüber Acetyl-CoA-Carboxylase (ACCCase)- und ALS-Inhibitoren, ist die Umsetzung eines integrierten Resistenzmanagements unverzichtbar, um den ökonomischen Wintergetreideanbau auf Flächen mit Trespens-Besatz nicht zu gefährden.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanz, ALS-Inhibitoren, Herbizidresistenz, integriertes Resistenzmanagement, Propoxycarbazone, Pyroxsulam

Abstract

The efficacy of different ALS-inhibiting herbicides for the control of brome species (*Bromus* spp.) was tested in three field trials in the year 2010 – 2012 in the region of North-West-Bavaria Franken. As a result of the trials the standard herbicide Attribut (Propoxycarbazone) was confirmed for the control of brome. In case of infestation with brome and black grass the herbicide Broadway (Pyroxsulam) offers a certain control of both problematic grass weeds. This illustrates the high dependency of sufficient brome control in winter cereals on the effectiveness of specific ALS-Inhibitor herbicides. Because of the high risk of herbicide resistance to ACCase- and ALS-inhibiting herbicides in brome, integrated weed management is essential for the sustainable control of brome in winter cereals, respectively winter wheat.

Keywords: ALS-Inhibitor, black grass, herbicide resistance, integrated weed management, Propoxycarbazone, Pyroxsulam

Einleitung

Trespens-Arten (*Bromus* spp.) sind Problemunkräuter, die insbesondere in getreidereichen Fruchtfolgen und unter pflugloser Bewirtschaftung verstärkt auftreten und ein hohes Ertragsrisiko für den Getreidebau darstellen. Beim Anbau von Wintergetreide ist bei frühen und mittleren Saatterminen regelmäßig eine Herbizidbehandlung im Herbst erforderlich um die Etablierung und Entwicklung der Kultur nicht zu gefährden (GEHRING *et al.*, 2006). Infolge von nicht ausreichenden Bekämpfungsleistungen der Herbstbehandlung und bei Nachauflauf von Trespens sind Folgebehandlungen im Frühjahr notwendig, da ansonsten nicht nur Ertragsschäden in der Getreidekultur, sondern auch eine nachhaltige Zunahme des Bodensamenpotenzials der jeweiligen Trespens-Art droht (MORAY, 2005).

Auf Standorten mit Trespens-Arten als Leitunkräuter ist häufig eine Mischverungrasung mit Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Wintergetreide vorhanden. Eine Frühjahrsbehandlung mit den Spezialpräparaten Attribut (Propoxycarbazone) und Monitor (Sulfosulfuron) ist in solchen Fällen für die effektive Kontrolle von Trespens-Arten und Acker-Fuchsschwanz wenig bzw. nicht

geeignet. Aus anwendungstechnischer Sicht stellt sich die Frage, ob neben dem mit einer Indikation zur Trespens-Bekämpfung ausgestatteten Präparat Atlantis (Mesosulfuron + Iodosulfuron) auch das Breitbandherbizid Broadway (Pyroxulam) für eine Kontrolle von Trespens-Arten und Acker-Fuchsschwanz geeignet ist. Der bayerische Pflanzenschutzdienst hat im Jahr 2010 eine Versuchsserie gestartet, um die Leistungsfähigkeit verschiedener Herbizide zur Bekämpfung von Trespens-Arten bei der Frühjahrsbehandlung zu untersuchen.

Material und Methoden

In einer Serie von drei Versuchen wurden von 2010 bis 2012 an den Standorten Kist (9.845 ö.L., 49.734 n.B.; WSG84), Eisingen (9.835 ö.L., 49.765 n.B.; WSG84) und Schraudenbach (10.045 ö.L., 49.993 n.B.; WSG84) verschiedene Herbizide auf die Leistungsfähigkeit zur Trespens-Bekämpfung geprüft (Tab. 1). Die Standardpräparate Attribut und Monitor wurden hierbei in Tankmischung mit geeigneten Zusatzstoffen und zusätzlich in Spritzfolgebehandlung eingesetzt, da hierdurch eine wirksamere Trespens-Bekämpfung ermöglicht wird (GEHRING *et al.*, 2006; MEINLSCHMIDT *et al.*, 2006). Die Versuchsstandorte wiesen die Bodenarten Lehm, schluffiger Lehm und toniger Lehm auf. Die Standorte liegen im Boden-Klima-Raum Nordwestbayern-Franken (ROßBERG *et al.*, 2007) und zeichnen sich durch eine Jahresmitteltemperatur von +9,2 °C und einem mittleren Jahresniederschlag von ca. 600 mm aus. Bei allen drei Versuchen war die Vorfrucht Wintergerste. Die Bodenbearbeitung erfolgte tief-mischend durch Grubbereinsatz. Die in den Versuchen angebauten Winterweizensorten waren Dekan, Asano und Impression. Die Saattermine lagen im Zeitraum von Ende September bis zur ersten Oktober-Dekade.

Tab. 1 Behandlungsvarianten in der Versuchsserie zur Überprüfung der Trespens-Wirkung verschiedener Herbizide.

Tab. 1 Treatment program to evaluate the brome efficacy of different herbicides.

VG	Behandlung / Spritzfolge	Wirkstoff, -konzentration (g a.i. *l ⁻¹ bzw. kg ⁻¹)	Aufwandmenge (l bzw. kg*ha ⁻¹ ; Konz. %)	Termin
1	Unbehandelte Kontrolle	-	-	-
2	Attribut + Mero	Propoxycarbazone, 700	0,1 + 1,0	NAF-1
3	Attribut + Mero / Attribut + Mero	Propoxycarbazone, 700	0,06 + 1,0 / 0,04 + 1,0	NAF-1 / NAF-2
4	Monitor + Monfast	Sulfosulfuron, 800	0,025 + 0,2 %	NAF-2
5	Monitor + Monfast / Monitor + Monfast	Sulfosulfuron, 800	0,0125 + 0,2 % / 0,0125 + 0,2 %	NAF-2 / NAF-3
6	Atlantis OD	Mesosulfuron 10 + Iodosulfuron 2 + Mefenpyr-diethyl, 30	1,5	NAF-1
7	Atlantis WG + FHS	Mesosulfuron, 30 + Iodosulfuron, 6 + Mefenpyr-diethyl, 90	0,5+1,0	NAF-1
8	Atlantis WG + FHS / Atlantis WG + FHS	Mesosulfuron, 30 + Iodosulfuron, 6 + Mefenpyr-diethyl, 90	0,25 + 1,0 / 0,25 + 1,0	NAF-1 / NAF-2
9	Atlantis OD / Atlantis OD	Mesosulfuron 10 + Iodosulfuron 2 + Mefenpyr-diethyl, 30	0,75 / 0,75	NAF-1 / NAF-2
10	Broadway + FHS	Pyroxulam 68 + Florasulam 23 + Cloquintocet-mexyl, 68	0,275 + 1,2	NAF-1
11	Broadway + FHS	Pyroxulam 68 + Florasulam 23 + Cloquintocet-mexyl, 68	0,275 + 1,2	NAF-2
12	Broadway + FHS / Broadway + FHS	Pyroxulam 68 + Florasulam 23 + Cloquintocet-mexyl, 68	0,135 + 0,6 / 0,135 + 0,6	NAF-2 / NAF-3

Legende: NAF-1 = nach dem Auflaufen im Frühjahr zum Vegetationsbeginn, NAF-2 = nach dem Auflaufen im Frühjahr nach Vegetationsbeginn
NAF-3 = 10-14 Tage nach NAF-2

Bei den an den Versuchsstandorten aufgetretenen Trespes handelte es sich im Jahr 2010 um die Roggen-Trespe (*Bromus secalinus*); in 2011 und 2012 um die Wiesen-Trespe (*Bromus commutatus*), die auch als Verwechselte Trespe bezeichnet wird. Die Besatzdichten lagen im Frühjahr, Ende März, zum Vegetationsbeginn bei einem Deckungsgrad von 30 – 50 %, respektive 400 – 700 Pflanzen je Quadratmeter. Im Jahr 2010 lag eine geringe Mischvergrasung und im Jahr 2012 ein zusätzlicher Besatz von 14 % Deckungsgrad mit Acker-Fuchsschwanz vor. Als dikotyle Unkräuter traten teilweise Kletten-Labkraut (*Galium aparine*) und Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) in sehr geringem Umfang auf.

Die Durchführung der Feldversuche erfolgte gemäß EPPO Richtlinie PP 1/93 (3). Die Herbizidbehandlungen wurden mit einer getragenen Pressluftparzellenspritze (Fabrikat Schachtner) mit einer Geschwindigkeit von 3,9 km*h⁻¹, einem Arbeitsdruck von 2,0 bar und einer Wasseraufwandmenge von 300 l*ha⁻¹ mit AirMix® 11003 Luftinjektordüsen ausgebracht. Die Versuche wurden mit der Windows-Software PIAF (ZINK UND SCHLÜTER, 1999) geplant, dokumentiert und ausgewertet. Für die Analyse der visuellen Wirkungsbonturen wurde das nichtparametrische Rangfolgetestverfahren Kruskal-Wallis ANOVA mit der Windows Software OriginPro 9.1 verwendet. Eine Beerntung der Versuche wurde nicht vorgenommen, da die unbehandelten Kontrollvarianten aufgrund des Trespens-Besatzes in keinem Fall beerntungsfähig waren.

Ergebnisse

Die Trespens-Wirkung über alle Behandlungsvarianten lag im Median in einem Bereich von 90 bis 100 %. Bei dem signifikant höheren Wirkungsbereich im Jahr 2010 (Abb. 1) trat Roggen-Trespe (*B. secalinus*) auf, während in den Versuchsjahren 2011 und 2012 die Behandlungen gegen die Wiesen-Trespe (*B. commutatus*) gerichtet waren. Das tendenziell im Jahr 2012 gegenüber 2011 abfallende Wirkungsniveau kann auf die im Frühjahr 2012 am Standort stark aufgetretenen Auswinterungsschäden an der Kultur Winterweizen erklärt werden. Infolge von Spätfrösten wurde der Kulturdeckungsgrad im Mai auf 10 % reduziert, während der Trespens-Besatz einen Deckungsgrad von 90 % erreichen konnte.

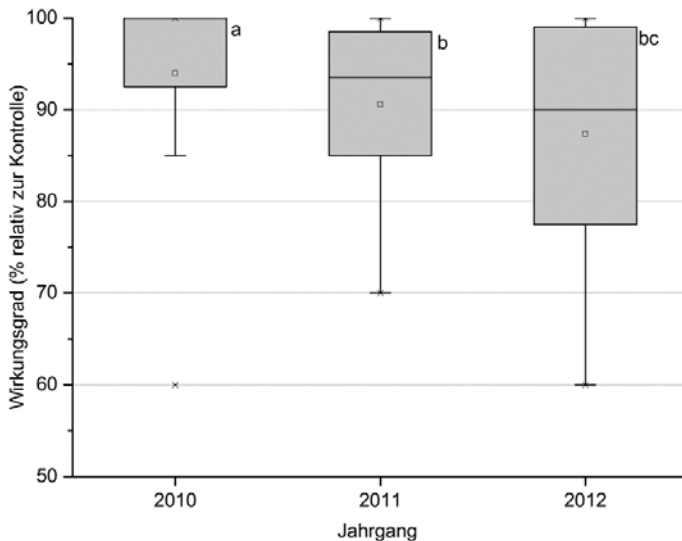


Abb. 1 Trespens-Wirkung aller Behandlungsvarianten im Vergleich der Versuchsjahre.

Fig. 1 Brome efficacy of all herbicide treatments in comparison of the test years.

Die Ergebnisse in der Trespens-Wirkung der verschiedenen Behandlungsvarianten zeigten eine teilweise hohe Variabilität innerhalb der einzelnen Behandlung, als auch deutliche Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten (Abb. 2). Die Vergleichsvariante mit dem Standardherbizid Attribut (VG 2) erzielte eine sehr hohe und sichere Trespens-Bekämpfungsleistung (Median: 100 % Wirkungsgrad). In der Box-Plot-Verteilung ist eine noch sicherere Trespens-Wirkung der Spritzfolgebehandlung (VG 3) gegenüber der Einmalbehandlung im frühen Nachauflauf zum Vegetationsbeginn erkennbar. Die Trespens-Leistung des zweiten Vergleichsstandards Monitor war gegenüber den Anwendungen mit Attribut signifikant schwächer, wobei die unbefriedigende Bekämpfungsleistung in der Einmalbehandlung (VG 4) durch eine Spritzfolgeapplikation (VG 5) signifikant verbessert werden konnte. Das Breitbandherbizid Atlantis konnte in keiner Anwendungsvariante (VG 6– 9) eine befriedigende Trespens-Wirkung erzielen. Das Wirkungs-niveau der Einmalbehandlungen (VG 6 und 7) lag im Median bei lediglich 76 % Wirkung. Die Spritzfolgeanwendungen (VG 8 und 9) konnten dagegen eine signifikant höhere Bekämpfungsleistung von 87 % Trespens-Wirkung (Median) erzielen. Ein Leistungsunterschied zwischen den beiden unterschiedlichen Formulierungstypen von Atlantis konnte nicht festgestellt werden. Das Prüfpräparat Broadway erzielte dagegen eine befriedigende bis sichere Trespens-Wirkung. Am signifikant leistungsfähigsten zeigte sich die Einmalbehandlung zum Vegetationsbeginn (VG 10). Die spätere Anwendung nach dem Vegetationsbeginn (VG 11) ermöglichte noch eine Trespens-Wirkung von 96 % (Median), die durch die Spritzfolgebehandlung (VG 12) nicht verbessert werden konnte.

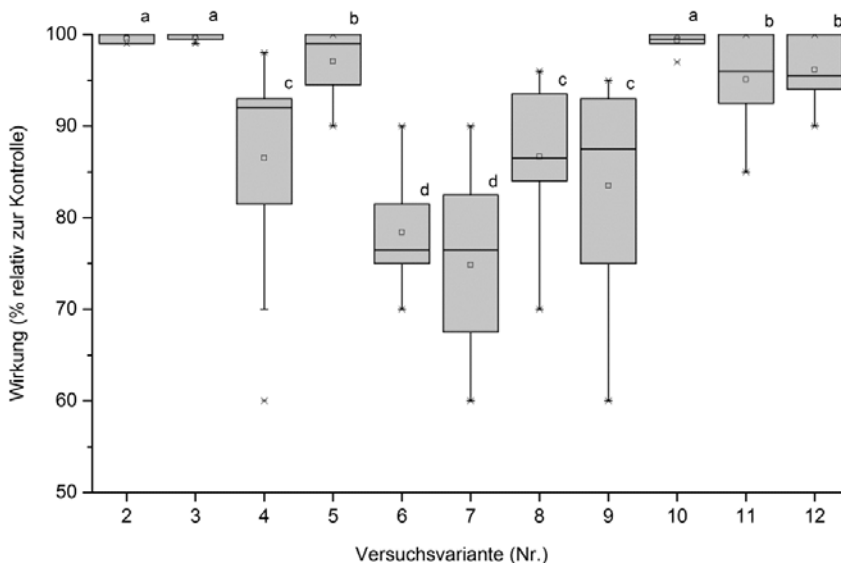


Abb. 2 Trespens-Wirkung im Vergleich der verschiedenen Behandlungsvarianten; Versuchsjahre 2010-2012.

Fig. 2 Brome efficacy in comparison of the different herbicide treatments; trial years 2010-2012.

Diskussion

Trespens sind ein bekanntes und spezifisches Problem für Fruchtfolgen mit einem höheren Anteil an Wintergetreide und nicht-wendenden Bodenbearbeitungsverfahren (KEES und PFEUFER, 1984; EGGERS, 1990). Die Empfehlung wieder zu tief-wendender Bodenbearbeitung zurück zu kehren, oder die Fruchtfolgen erheblich umzustellen, ist aus verschiedenen sozio-ökonomischen Gründen für die betroffenen Betriebe eher von theoretischer Bedeutung. Auch anbautechnische Möglichkeiten zur Unterdrückung von Trespens in Wintergetreide, wie etwa spätere Saattermine,

sind in ihrer Wirksamkeit so weit begrenzt, dass eine effektiv chemische Regulierung unverzichtbar ist (MORAY, 2005). Eine ausreichende Bekämpfungsleistung ist nur durch die Kombination von leistungsfähigen Herbizidbehandlungen im Herbst und Frühjahr in Wintergetreide respektive Winterweizen möglich (GEHRING *et al.*, 2006). Da besonders leistungsfähige Bodenherbizide (DASTGHEIB *et al.*, 2003; KLEEMANN und GILL, 2008) oder herbizidresistente Weizensorten (OSTLIE und HOWATT, 2013) in Deutschland nicht einsatzfähig sind, lastet der endgültige Bekämpfungserfolg des jeweiligen Behandlungsverfahrens auf der Wirksamkeit der Frühjahrsbehandlung. Neben den Möglichkeiten der Wirkungsoptimierung bei der Frühjahrsbehandlung durch die Anpassung des Behandlungstermins an die Anwendungsansprüche des einzelnen Präparates, die Applikation in Spritzfolge und gegebenenfalls die Ergänzung mit geeigneten Zusatzstoffen (MEINLSCHMIDT *et al.*, 2006) ist die Auswahl des am besten geeigneten Herbizids eine unverzichtbare Maßnahme zur Verbesserung der Bekämpfungsleistung.

Anhand der hier dargestellten Versuchsserie ist die frühzeitige Anwendung von Attribut in Tankmischung mit dem Zusatzstoff Mero eine empfehlenswerte Standardbehandlung zur Trespen-Bekämpfung im Frühjahr. Durch die Applikation im Spritzfolgeverfahren kann die Wirkungssicherheit noch zusätzlich abgesichert werden. Bei den in der Anbaupraxis oftmals vorkommenden Situationen einer Mischverungrasung mit Trespen und Acker-Fuchsschwanz sollte die Anwendung des Breitbandherbizids Broadway bevorzugt werden. Eine frühzeitige Behandlung ist hierbei für die Umsetzung einer hohen Bekämpfungsleistung unverzichtbar. Die in der Versuchsserie nachgewiesene spezifische Vorzüglichkeit des Herbizids Broadway bestätigt bereits vorhandene, internationale Empfehlungen (COOK, 2009).

Die hier dargestellte, alternativlose Abhängigkeit der chemischen Kontrolle von Trespen in Wintergetreide bzw. Winterweizen von der Anwendung spezieller Herbizide aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren (HRAC-Klasse: B) zeigt allerdings auch das hohe Risiko für den nachhaltigen Anbau von Wintergetreide auf Standorten mit einem hohen Trespen-Besatz. Neben mehrfachen Hinweisen und Bestätigungen aus dem internationalen Bereich (BOUTSALIS und PRESTON, 2006; ESCORIAL *et al.*, 2011; OWEN *et al.*, 2012) liegt inzwischen auch für Deutschland der Nachweis einer gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ACCase- und ALS-Inhibitoren resistenten *Bromus sterilis* Population vor (HEAP, 2013). Im Sinne eines integrierten Resistenzmanagements ist es unverzichtbar, die Besatzdichte von Trespen durch anbautechnische Maßnahmen, insbesondere durch möglichst vielfältige Fruchtfolgen, angepasste Bodenbearbeitungsverfahren und nicht-chemische Bekämpfungstechniken, auf ein möglichst niedriges Niveau zu begrenzen.

Literatur

- ANONYMOUS, 2007: Weeds in cereals - Efficacy evaluation of herbicides. European and Mediterranean Plant Protection Organization, EPPO Richtlinie PP 1/93 (3), 5 S.
- BOUTSALIS, P. und C. PRESTON, 2006: Resistance to acetyl-Coenzyme A carboxylase (ACCCase)-inhibiting herbicides in *Bromus* spp. in Australia. 15th Australian Weeds Conference proceedings: managing weeds in a changing climate. Weed Management Society of SA, 538-540.
- COOK, S., 2009: Identification and control of brome grasses. Agriculture and Horticulture Development Board, Information Sheet 07, 4 p.
- DASTGHEIB, F., M.P. ROLSTON, W.J. ARCHIE, 2003: Chemical Control of Brome Grasses (*Bromus* spp.) in Cereals. New Zealand Plant Protection **56**, 227-232.
- EGGERS, T., 1990: Trespen im Ackerbau. Gesunde Pflanzen **42**, 80-84.
- ESCORIAL, C., I. LOUREIRO, E. RODRIGUEZ-GARCIA und C. CHUECA, 2011: Population Variability in the Response of Rippgut Brome (*Bromus diandrus*) to Sulfosulfuron and Glyphosate Herbicides. Weed Science **59**(1), 107-112.
- GEHRING, K., S. THYSSEN und T. FESTNER, 2006: Bekämpfung von Trespen-Arten (*Bromus* spp.) im Getreidebau. Z. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XX**, 659-665.
- HEAP, I., 2013: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online – www.weedscience.org
- KEES, H. und H. PFEUFER, 1984: Die Taube Trepse – ein neues Unkrautproblem in Winterungen bei eingeschränkter Bodenbearbeitung. Pflanzenschutz Praxis **3**(2), 8-10.
- KLEEMANN, S.G.L. und G.S. GILL, 2008: Applications of Metribuzin for The Control of Rigid Brome (*Bromus rigidus*) in No-Till Barley Crops of Southern Australia. Weed Technology **22**(1), 34-37.

- MORAY, R., 2005: *Bromus*-Arten in Winterweizen – Verbreitung, Bedeutung und Populationsdynamik. Dissertation Universität Hohenheim, 136 S.
- MORAY, R. und E. HACKER, 2001: Trespenverbreitung in Deutschland. *Getreide-Magazin* **4**, 184-186.
- MEINLSCHMIDT, E., R. BALGHEIM, G. SCHRÖDER, I. PITTORF, J. PAPPENFUS, 2006: Niederhaltung von *Bromus sterilis* L. in Winterweizen – Bewertung vierjähriger Ringversuche der Länder Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. *Z. Pflanzen. Pflanzen.* **XX**, 717-725.
- MENENDEZ, J., F. BASTIDA, R. DE PRADO, 2006: Resistance to chlortoluron in a downy brome (*Bromus tectorum*) biotype. *Weed Science* **54**(2), 237-245.
- OSTLIE, M.H., K.A. HOWATT, 2013: Downy Brome (*Bromus tectorum*) Competition and Control in No-Till Spring Wheat. *Weed Technology* **27**(3), 502-508.
- OWEN, M.J., D.E. GOGGIN, S.B. POWLES, 2012: Non-target-site-based resistance to ALS-inhibiting herbicides in six *Bromus rigidus* populations from Western Australian cropping fields. *Pest Manag. Sci.* **68**(7), 1077-1082.
- ROBBERT, D., V. MICHEL, R. GRAF, R. NEUKAMPF, 2007: Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **59** (7), 155–161.
- ZINK, G., H. SCHLÜTER, 1999: PIAF – Planing, Information and Analysis System for Field Trials. In: IT Applications for the Agricultural Extension Service with regard to the Federal Structure of the Administration Organization in Germany. Referate 20. GIL Jahrestagung & EFITA/99, Bonn, 26-41.

Against the current - Clearfield® oilseed rape in Germany

Gegen den Strom – Clearfield-Raps in Deutschland

Christine Laufer, Max Siebachmeyer, Sabine Gruber*, Shoubing Huang, Ernst Albrecht Weber and Wilhelm Claupein

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340a), Universität Hohenheim, 70599 Stuttgart

* Corresponding author, Sabine.Gruber@uni-hohenheim.de

DOI 10.5073/jka.2014.443.091



Abstract

The introduction of imidazolinone-tolerant oilseed rape (Clearfield® system, CL; OSR) meets with scepticism in Germany. Frequently mentioned as a major drawback for growing CL-OSR in Germany is the possible occurrence of herbicide resistant CL-volunteers which could run out of control. A monitoring was started by BASF in the seasons 2011/2012/2013 on farms in Germany prior to commercial launching of the Clearfield® system. Aim of this phase was, among others, to analyse the potential for occurrence and survival of volunteers, and to identify factors which promote or minimize volunteers. The University of Hohenheim monitored 41 farms in nearly all regions of Germany during spring 2013 in the crops following to CL-OSR (harvested in summer 2012), mostly winter wheat. Volunteer OSR was counted on the fields and molecular-biologically analysed, and the soil seed bank was investigated in 0 – 30 cm soil depth. Additionally, data about field history and cultivation were gathered. Several CL-varieties were tested at the same time in the laboratory for secondary dormancy. First results showed variation in dormancy from high (>90%) to nearly no dormancy of the tested CL-varieties, similar to common varieties. The situation on farmers fields corresponded to dormancy values: 40 – 49% of all farms had no CL-soil seedbank or volunteers at all, and a maximum of 1000 CL seeds m⁻² and two CL-volunteers m⁻² were observed on the other farms. Conventional seed banks and volunteers additionally occurred on the majority of the farms. Overall, seed survival and volunteer emergence of CL-OSR can be assessed as medium-low compared to previous studies with conventional varieties. Volunteers observed after CL growing do not necessarily originate from this crop. The regression analysis showed no clear effects, probably because of the low number of sampling sites. This monitoring did not reveal specific disadvantages linked with CL-oilseed rape in terms of volunteers.

Keywords: *Brassica napus*, Clearfield®, dormancy, soil seed bank, variety, volunteers

Zusammenfassung

Die Einführung von Imidazolinon-tolerantem Raps (Clearfield®-System, CL-Raps) stößt in Deutschland auf Skepsis. Ein häufig genannter Nachteil des CL-Rapses in Deutschland ist das mögliche Auftreten von herbizid-tolerantem und schwer bekämpfbarem CL-Durchwuchs. Daher wurde von der BASF in den Jahren 2011/2012/2013 vor der Einführung des Clearfield®-Systems ein Probeanbau und ein Monitoring auf landwirtschaftlichen Betrieben in ganz Deutschland vorgenommen. Ziel war unter anderem, das Potential für das Auftreten von Durchwuchsraps zu analysieren und Faktoren zu identifizieren, die zu Durchwuchsraps führen. Die Universität Hohenheim hat bei diesem Monitoring im Frühjahr 2013 Flächen (überwiegend Winterweizen) auf 41 Betrieben in ganz Deutschland untersucht, auf denen im Vorjahr CL-Raps geerntet worden war. Durchwuchsraps wurde gezählt und molekularbiologisch analysiert; weiterhin erfolgte eine Bodenprobennahme in einer Bodentiefe von 0 – 30 cm auf 20 Flächen zur Bestimmung des Bodensamenvorrats an Raps. Über einen Fragebogen wurden zusätzliche Informationen zu Schlaghistorie und Anbauverfahren abgefragt. Parallel dazu wurden die angebauten sowie weitere CL-Sorten im Labor auf sekundäre Dormanz getestet. Zwischen den Sorten zeigten sich die schon bei konventionellem Raps bekannten Unterschiede in der Dormanz, die von hoch dormant (> 90 %) bis nahezu nicht dormant reichten. Auf den Praxisbetrieben ergab sich ein ähnliches Bild: auf 40 – 49 % der Betriebe wurden weder ein CL-Bodensamenvorrat bzw. noch CL-Durchwuchsraps gefunden. Der Durchwuchs auf den anderen Betrieben belief sich auf maximal rund zwei CL-Durchwuchspflanzen m⁻², und knapp 1000 CL-Samen m⁻² waren maximal im Samenvorrat. Auf den meisten Flächen fanden sich zusätzlich konventioneller Durchwuchsraps bzw. Bodensamenvorrat oder Kreuzungen zwischen konventionellem und CL-Raps. Insgesamt kann der Besatz mit CL-Durchwuchs im Vergleich zu Studien mit konventionellem Durchwuchs als mittel bis gering eingestuft werden. Die Regressionsanalyse ergab bei der geringen Anzahl geprüfter Flächen wenig einheitliche und eindeutige Ergebnisse. Mit dem Anbau von CL-Raps scheinen auf den Monitoringflächen keine besonderen Nachteile im Hinblick auf Durchwuchsraps verbunden gewesen zu sein.

Stichwörter: *Brassica napus*, Bodensamenvorrat, Clearfield®, Dormanz, Durchwuchs, Sorte

Introduction

Clearfield® (CL) is worldwide the common term for the combination of an imidazolinone-based herbicide and a corresponding plant which is tolerant against the active ingredient of the herbicide. The aim of the CL-system in oilseed rape (OSR) was to reliably control broadleaf- and grass weeds in OSR in post-emergence. With this system it is possible to control especially crucifers in OSR, for example bittercress (*Erysimum barbarea* L.), turkish rocket (*Bunias orientalis* L.) or white top (*Lepidium draba* L.) which was not possible in OSR with other herbicides before. Also the control of volunteer OSR from traditional genotypes in the crop rotation is possible with the CL-system (CHENEVIER *et al.*, 2013). In March 2012 the herbicide Clearfield®-Vantiga® D (imazamox) was officially approved in Germany (CHENEVIER *et al.*, 2013), which enabled the introduction of the CL-OSR system in Germany. CL-OSR has a tolerance against the active ingredient imazamox which belongs to the mode of action of branched chain amino acid synthesis (ALS) inhibitors.

Due to the ability of rapeseed seeds to stay dormant in the soil for up to 11 years (LUTMAN *et al.*, 2003), rural administration, regional authorities and official plant protection services raise concern about the system (NIEHOFF and KLINGENHAGEN, 2012). The scepticism about this system is – partly – caused by the possible occurrence of imazamox-tolerant volunteers in the cropping system. One of the debated reasons for volunteers is the outcrossing of CL-OSR with conventional OSR or even with other species of the same family. Due to that it could be possible that the tolerance can spread into other OSR fields (HÜSKEN and DIETZ-PFEILSTETTER, 2007) or in the environment in general (Liu *et al.*, 2013). The same can happen if farmers share machinery and the combine harvester unintentionally transports remaining CL-seeds to another field (NIEHOFF and KLINGENHAGEN, 2012). Most relevant, however, is the fact that CL-volunteers from the high number of seeds lost during harvesting can emerge in following crops, including in OSR, which are most probably tolerant against several herbicides with similar mode of action as the herbicide Vantiga®. BASF has started a testing phase of growing CL-OSR with selected farms in Germany prior to the commercial introduction of the herbicide and the varieties. Among agronomical traits of the varieties and efficiency of the herbicide, experience should be gathered about seed survival in the soil and the amount of CL-volunteers in the crop rotation. The University of Hohenheim has experience in the research about volunteer oilseed rape for more than 15 years (Gruber *et al.*, 2004; PEKRUN *et al.*, 2005; WEBER *et al.*, 2013). It is well known that the level of seed dormancy (PEKRUN *et al.*, 1997; GRUBER, 2004) determines the size of the soil seed bank and the number of volunteers which emerge from this soil seed bank. Furthermore, experiments have shown that post-harvest tillage is an important issue in this context: incorporation of seeds from harvest loss quite soon after harvesting of oilseed rape often induces secondary dormancy, promotes the creation of a longstanding soil seed bank and thus promotes the occurrence of volunteers (GRUBER *et al.*, 2010). Other factors such as climate or soil type are not yet well studied. The evaluation of the soil seed bank and volunteers from many practical farms all over Germany offers a good opportunity to crosscheck the results from field trials in agricultural practice, and to gain information about other factors which have an impact on seed survival of oilseed rape in the soil. Aim of the study was to analyse and to describe the soil seed bank and number of volunteers after the cultivation of CL-oilseed rape, and to identify factors which have facilitated seed survival and volunteers.

Material and Methods

The monitoring was conducted from April 29th till July 5th 2013 from southern Germany to northern Germany. The sampling sites were distributed throughout all Federal States of Germany except Berlin, Bremen, Hamburg and Saarland, with a focus on the areas typical for OSR cultivation (Fig. 1). Additionally, a questionnaire was handed to the farmers to gain further information about the history and cultivation practice of the fields.

Sampling Sites

As a whole, 41 sites (farms) were evaluated on which CL-OSR was cultivated in the growing period 2011/2012. The CL-OSR growing area varied from 0.68 to 8.0 hectares (ha) with an area of 3.25 ha on average. Only one variety was grown on each experimental site. All together, six different CL-varieties with different potential for secondary dormancy (tested according to WEBER *et al.*, 2010) were grown. The sowing and cultivation was done according to best management practice and according to the different local conditions. Thus the sampling sites were distributed all over Germany, and a wide range of different soil types, climate conditions and management practices were covered. The following crop was mostly winter wheat (32 sites), but also winter barley (six sites), winter triticale (one site) and winter rye (two sites) were grown.



Fig. 1 Locations of the sampling sites in Germany; STEP MAP (2013).

Abb. 1 Lage der Untersuchungsflächen in Deutschland; STEP MAP (2013).

Soil Samples

To determine the soil seed bank, soil samples were taken from 20 out of the 41 sites. The soil samples were taken with a PUERCKHAUER auger having a diameter of 1.6 cm. On each sampling site 40 cores from 0-30 cm were randomly taken from the whole CL-OSR growing area. The samples were collected as bulk samples of three different depths (0–10 cm, 10–20 cm and 20–30 cm). To suppress seed germination, the soil samples were immediately cooled down and transferred into a deep freezer as soon as possible. The soil samples were washed out using a FRITSCHE (Fritsch GmbH, Germany) analytic sieve with a mesh width of 1 mm. Afterwards the OSR seeds were hand-selected from the sieve residues. The seeds were sent to a laboratory for DNA analyses.

Evaluation for Volunteers

All 41 sites were examined for volunteer OSR. On each site a frame with an area of one square meter was randomly placed 20 times. In each frame the OSR volunteers were counted and each individual plant was collected. To identify CL-OSR volunteers among all volunteers, 2–4 discs with 6 mm diameter were cut out from the youngest leaflets with a Harris UNI-CORE™. To avoid cross-contamination between the different plant samples, the Harris UNI-CORE™ was cleaned using 90% ethanol after each individual plant. The discs of each plant were dried and afterwards inserted into a 96-well-plate and sent by express to a laboratory for DNA analyses.

Molecular –Biological Analysis

The DNA analyses were done by the external laboratory ScanBi Diagnostics (ScanBi Diagnostics, Arnab, Sweden). The genomic DNA (gDNA) was extracted from the leaf and seed material and eluted in water. Afterwards the gDNA was pre-amplified by polymerase chain reaction (PCR) using gene specific oligonucleotide primers targeting either the BnAHASL1A gene which is the target of PM2 resistance or the BnAHASL1C gene which is the target of PM1 resistance and a polymerase with proofreading activity. The resulting PCR product was diluted with water. The samples were subsequently processed in a high throughput manner using automation to identify the zygosity at the nucleotide sites responsible for imidazolinone resistance (RUTLEDGE *et al.*, 1991). The assay, employing real-time PCR technology for single nucleotide polymorphism (SNP) identification (HOLLAND *et al.*, 1991), utilizes minor groove binder (MGB) type probes. For each assay to detect either the PM1 or PM2 genes, two probes were designed to differentiate the two alleles and each probe was bound to a different fluorescent molecule independently detected within a duplex PCR. One probe was designed to bind specifically to the resistant or mutant allele and the other one specifically targets the susceptible or non-mutant allele. The two probes generate fluorescent signals with different wavelengths which were captured in real time by an ABI 7900HT thermal cycler. The measurement for each assay was then compared to a standard control of known genotype to identify if any mutation either in PM1 or PM2 or both can be proven or not.

Statistical Analysis

Based on the small dataset it was necessary to confine the evaluation to those effects which are known to have a high influence on the soil seed bank and volunteers of OSR. As a first step the most important effects, with possible impact on both volunteer CL-OSR and the soil seed bank, were pre-selected from the questionnaires. The cultivar was set per definition as fixed effect. Additionally, the following effects were included in the multiple regression analyses: soil type, time of the first post-harvest tillage, depth of the first, second and third post-harvest tillage, pre- and post-harvest seed losses, yield of the CL-OSR, and the factor inversion tillage or non-inversion tillage after CL-OSR. The multiple regression analyses were performed using the procedure PROC REG with stepwise selection of the statistical software SAS version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary/North Carolina) to use a selected model for further tests after that.

To test whether the pre-selected effects have different influence on CL-OSR and crossbreed CL-OSR the dataset was subdivided into these two parts. The multiple regression using stepwise selection procedure was progressed separately for each part. For the crossbreed CL-OSR additional

variable effects such as years after last OSR cultivation, frequency of soil inversion tillage after the last OSR, the possibility of occurrence of OSR in CL-OSR and OSR on the adjacent area were added.

To perform F-tests for the fixed effects and multiple t-tests for the fixed and selected ($\alpha = 0.15$) effects of the multiple regression, the selected model was analyzed with a mixed model (PROC MIXED) with $\alpha = 0.05$.

The following model was used: $y = X\beta + e$

y = vector of seeds m^{-2} or volunteers m^{-2} of each part

β = vector of fixed effects and covariables

X = design matrix

e = vector of the residual error

Results

OSR soil seed bank

CL-OSR seeds were found on eight of the 20 sampling sites (40% of all sites, Tab. 1). The highest amount was found on a field in Saxony (SN) with 995 seeds m^{-2} . Except of the sites in Bavaria (BY), Rhineland-Palatinate (RP), North Rhine-Westphalia (NRW), Lower Saxony (NI) and Mecklenburg-Western Pomerania (MV) where no CL-OSR seeds were found, the smallest soil seed banks with 124 CL-OSR seeds m^{-2} were in Baden-Wuerttemberg (BW), Saxony-Anhalt (ST) and Brandenburg (BB). On average 162 CL-OSR m^{-2} could be found on the examined sites in Germany.

Tab. 1 Number of CL- and crossbreed OSR seeds m^{-2} in the soil seed bank on farmers' fields in federal states of Germany, in first spring (year 2013) after harvesting CL-OSR.

Tab. 1 Anzahl an CL- und ausgekreuzten Rapssamen m^{-2} im Bodensamenvorrat auf Praxisflächen im ersten Frühjahr (2013) nach dem Anbau von CL Raps, angegeben nach Bundesländern.

Federal states	BW	BY	RP	TH	ST	SN	BB	NRW	NI	MV	SH
No. sampling sites	2	3	1	3	3	1	1	1	1	1	3
CL seeds m^{-2}	124	0	0	249	124	995	124	0	0	0	249
on each site	0	0		373	497						0
		0		0	0						0
Crossbreed seeds m^{-2}	0	124	0	0	0	0	249	0	0	0	124
on each site	0	124		0	0						0
		0		0	0						0

Besides pure CL seeds, also crossbreed seeds from outcrossing of CL and non-CL OSR were found in BY, BB and SH (Schleswig-Holstein), with a maximum of 249 seeds m^{-2} (Tab. 1). Conventional OSR (not shown) was found in total on 11 sites in every federal state except in NRW, NI and MV. The highest number of conventional OSR in the soil seed bank was found in SH with 1243 seeds m^{-2} , a value which exceeded the number of CL-seeds. These seeds must have derived from conventional OSR cultivation at least two, or even more, years ago.

The levels of secondary dormancy of the CL-OSR varieties grown by the farmers, determined by the Hohenheim Standard Dormancy Test in the laboratory (data not shown), and the mean number of CL-OSR seeds m^{-2} correlated positively and quite closely with $R^2 = 0.67$.

Volunteer OSR

Though many of the farmers had used ALS inhibitors (which would not strongly damage the CL volunteers) for weed control in winter wheat, many farms had no volunteers at all. At 20 out of 41 monitored sites, no volunteer CL-OSR was observed (Tab. 2), which is corresponding to 49% of all the sites. Most volunteers were found on a site in the federal state of Thuringia (TH) with a mean of

2.05 CL-OSR volunteers m⁻². The majority of sites where volunteers were observed had less than 0.5 CL-OSR volunteers m⁻². Averaged over all sites there were 0.27 CL-OSR volunteers m⁻². Crossbreed CL-OSR also occurred at some sites, obviously from pollen flow from conventional oilseed rape outside the CL-field to the CL-OSR. With exception of the sites in BW and ST with 0.45 and 0.25 crossbreed volunteers m⁻², there were usually < 0.1 crossbreed volunteers m⁻² found. More than 50% of the sites had no conventional volunteers (data not shown), and the highest number was found in winter barley on a site in BB with 1.15 plants m⁻². In average 68% of all volunteers found were CL-OSR from directly preceding harvest, and 25% were conventional OSR volunteers probably from years before. Dormancy levels of the varieties and the mean of CL-OSR volunteers m⁻² correlated positively with R² = 0.73.

Tab. 2 Number of CL- and crossbreed OSR volunteers m⁻² found on farmers' fields in the federal states of Germany, in first spring (2013) after harvesting CL-OSR.

Tab. 2 Anzahl an CL- und ausgekreuztem Durchwuchsraps m⁻² auf Praxisflächen im ersten Frühjahr (2013) nach dem Anbau von CL-Raps, angegeben nach Bundesländern.

Federal state	BW	BY	RP	HE	TH	ST	SN	BB	NRW	NI	MV	SH
No. of sampling sites	2	5	2	2	6	5	4	2	1	2	6	4
CL- volunteers m ⁻² on each site	0.60	0.70	0.20	0.00	2.05	1.90	0.05	0.45	1.85	0.00	0.10	0.15
	0.00	0.55	0.00	0.00	0.15	1.60	0.05	0.15		0.00	0.00	0.00
		0.15			0.15	0.00	0.05				0.00	0.00
		0.10			0.05	0.00	0.00				0.00	0.00
		0.00			0.05	0.00					0.00	
					0.00						0.00	
Crossbreed volunteers m ⁻² on each site	0.45	0.05	0.00	0.00	0.05	0.25	0.05	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
		0.00			0.00	0.05	0.00				0.00	0.00
		0.00			0.00	0.00	0.00				0.00	0.00
		0.00			0.00	0.00					0.00	
					0.00						0.00	

Factors affecting soil seed bank and volunteers

The statistical analyses revealed no clear and consistent results on factors affecting the soil seedbank and the number of volunteers, mainly because of the high variability of the data set which is due to the small number of sampling sites (only 41). Delayed first post-harvest tillage resulted in lower numbers of volunteers and a lower soil seed bank than immediate tillage, though it was not statistically significant. The soil seed bank of crossbreed seeds was significantly highest in sandy soils. There were effects of the CL-variety on the CL-soil seedbank and the number of CL-volunteers as well, but also below significance level. High-dormancy varieties (grown only on few of the monitored farms) resulted in comparatively high numbers of volunteers. Primary tillage deeper 10 cm tended to result in a higher soil seed bank than shallow primary tillage, independently from the mode of tillage (inversion or non-inversion tillage).

Discussion

There was a high variability in the number of CL-OSR volunteers, and in the amount of CL-seeds in the soil seed bank as well. In contrast to our expectation nearly the half of all sampling sites was free from CL-OSR volunteers and free from CL-OSR seeds surviving in the soil, as far we could

observe. The amount of volunteers and seed survival is in accordance with results from previous studies about conventional OSR (GRUBER *et al.*, 2005) who found the soil seed bank in the first year after OSR consisting of several hundred seeds, and volunteers' numbers of <1.3 plants m⁻².

The occurrence or absence of CL-OSR seeds and volunteers m⁻² on the fields can be explained by the different disposition of OSR varieties to acquire secondary dormancy under specific environmental conditions. Seed dormancy is the most relevant factor for the existence of a soil seed bank and thus also for volunteers which emerge from the soil seed bank in the course of time (PEKRUN *et al.*, 1997). Similar results were shown by different researches (LUTMAN *et al.*, 2003; GRUBER *et al.*, 2004; GRUBER *et al.*, 2010; WEBER *et al.*, 2013). The quite high correlation between the disposition of the CL varieties to secondary dormancy and the size of the soil seed bank emphasizes the effect of dormancy. The variety with the highest dormancy level resulted in the greatest soil seed bank. The correlation was even higher between dormancy and volunteers compared to the correlation of dormancy-soil-seedbank, so that most of the variability in the occurrence of volunteers can in fact be explained by dormancy.

Other factors such as time and depth of tillage (GRUBER *et al.*, 2010; PEKRUN and HUBERT, 2012), or soil texture had most likely an additional effect on seed survival and volunteers' emergence. These effects, however, could not reliably be calculated due to the comparatively small number of sites, and the great number of variables, such as different agronomic measures and different weather conditions at the farms.

Although the CL-OSR was often cultivated on a sub-area within a conventional OSR field, an average of only 7% of all volunteers across all sampling sites were crossbreeds between conventional and CL-OSR. The outcrossing rate of herbicide-resistant OSR depends mainly on the variety and is also dependent on the local conditions and the topography (HÜSKEN and DIETZ-PFEILSTETTER, 2007).

An assumed, insufficient chemical control of CL-OSR volunteers is another point of criticism raised by the public. In 34% of the sample sites herbicides with ALS inhibitors as active ingredient or ALS inhibitors as parts of the herbicides were applied. Nevertheless most of these farms had no or very few CL-volunteers on their fields. This result gives evidence that the control of CL-OSR obviously does not seem that very problematic as often assumed (NIEHOFF and KLINGENHAGEN, 2012). All in all, the number of sites was too small to allow a final assessment of the issue of CL-volunteers. The study showed that CL-volunteers did not cause more weedy effects than conventional OSR did, in the given conditions of the sampling sites and of the year 2013. Farmers' practice, without knowing the details from this study which practice was most effective, is obviously often suitable to reduce conventional and CL-OSR volunteers nearly to zero. Variety-dependent dormancy appears to be worth to be considered for future breeding and growing CL oilseed rape. Low-dormancy varieties could well support other management measures to minimize volunteers.

Acknowledgements

The authors give a heartfelt thank to BASF/Dr. Alfons Schönhammer who enabled the project for us. Special thanks goes also to all farmers who provided their fields and time for the monitoring and completed the questionnaires, to the field consultants of BASF and to all others involved into the project from BASF and University of Hohenheim.

References

- CHENEVIER, S., F. BAUER, F. DIECKMANN, J. RICHTER, M. ROESER, C. ROTHKRANZ, A. SCHOENHAMMER and S. ZEYER, 2013: Clearfield® Weißbuch. BASF SE, Ludwigshafen am Rhein, 87 pp.
- GRUBER, S., 2004: Seed persistence of oilseed rape (*Brassica napus*): variation in transgenic and conventionally bred cultivars. *J. Agric. Sci.* **142**, 29.
- GRUBER, S., C. PEKRUN and W. CLAUPEIN, 2004: Population dynamics of volunteer oilseed rape (*Brassica napus* L.) affected by tillage. *Eur. J. Agron.* **20**, 351-361.
- GRUBER, S., C. PEKRUN and W. CLAUPEIN, 2005: Life cycle and potential gene flow of volunteer oilseed rape in different tillage systems. *Weed Res.* **45**, 83-93.

- GRUBER, S., A. BÜHLER, J. MÖHRING and W. CLAUPEIN, 2010: Sleepers in the soil—Vertical distribution by tillage and long-term survival of oilseed rape seeds compared with plastic pellets. *Eur. J. Agron.* **33**, 81-88.
- HOLLAND, P.M., R.D. ABRAMSON, R. WATSON and D.H. GELFAND, 1991: Detection of specific polymerase chain reaction product by utilizing the 5'→3' exonuclease activity of *Thermus aquaticus* DNA polymerase. *Proc. National Academy of Sciences* **88**, 7276-7280.
- HÜSKEN, A. and A. DIETZ-PFEILSTETTER, 2007: Pollen-mediated intraspecific gene flow from herbicide resistant oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Transgenic Res.* **16**, 557-569.
- LIU, Y., W. WEI, K. MA, J. LI, Y. LIANG and H. DARMENCY, 2013: Consequences of gene flow between oilseed rape (*Brassica napus*) and its relatives. *Plant Sci.* **211**, 42-51.
- LUTMAN, P.J.W., S.E. FREEMAN and C. PEKRUN, 2003: The long-term persistence of seeds of oilseed rape (*Brassica napus*) in arable fields. *J. Agric. Sci.* **141**, 231-240.
- NIEHOFF, T. and G. KLINGENHAGEN, 2012: Gemeinsames Informationsblatt der Landwirtschaftskammern Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein sowie des Landesamtes der Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern und des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Freistaat Sachsen zu Clearfield®-Raps. http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Clearfield_Raps12042012.pdf
- PEKRUN, C., P.J.W. LUTMAN and K. BAEUMER, 1997: Induction of secondary dormancy in rape seeds (*Brassica napus* L.) by prolonged imbibition under conditions of water stress or oxygen deficiency in darkness. *Eur. J. Agron.* **6**, 245-255.
- PEKRUN, C., P.W. LANE and P.J.W. LUTMAN, 2005: Modelling seedbank dynamics of volunteer oilseed rape (*Brassica napus*). *Agric. Syst.* **84**, 1-20.
- PEKRUN, C. and S. HUBERT, 2012: Einfluss der Stoppelbearbeitung auf Samenüberdauerung und den Aufgang von Rapsdurchwuchs. In: *Ausfallraps - Biologie, Bedeutung und Bekämpfung*. BASF SE, Limburgerhof, BASF SE, Ludwigshafen am Rhein, 90-103.
- PETERSEN, J. and C. KRATO, 2012: Clearfield® - Ausfallrapsbekämpfung im Winterweizen. In: *Ausfallraps - Biologie, Bedeutung und Bekämpfung*. BASF SE, Limburgerhof, BASF SE, Ludwigshafen am Rhein, 112-119.
- RUTLEDGE, R.G., T. QUELLET, J. HATTORI and B.L. MIKI, 1991: Molecular characterization and genetic origin of the *Brassica napus* acetohydroxyacid synthase multigene family. *Mol. Gen. Genet.* **229**, 31-40.
- STEPMAP, 2013: Landkarten online gestalten und drucken. StepMap GmbH, www.stepmap.de (accessed October 2013).
- WEBER, E.A., K. FRICK, S. GRUBER and W. CLAUPEIN, 2010: Research and development towards a laboratory method for testing the genotypic predisposition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) to secondary dormancy. *Seed Sci. Technol.* **38**, 298-310.
- WEBER, E.A., GRUBER, S., STOCKMANN, F. and W. CLAUPEIN, 2013: Can low-dormancy oilseed rape (*Brassica napus*) genotypes be used to minimize volunteer problems? *Field Crops Res.* **147**, 32-39.

Kann über die Lückenindikation eine chemische Unkrautbekämpfung in Öllein noch abgesichert werden?

Is the validation of chemical weed control in linseed possible within the framework of a minor use procedure?

Christine Tümmeler* und Gerhard Schröder

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg,
Pflanzenschutzdienst, Steinplatz 1, 15806 Zossen

* Korrespondierender Autor, christine.tuemmler@llef.brandenburg.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.092

Zusammenfassung

Nachdem im Jahr 1999 allein in Brandenburg über 68.000 ha Öllein angebaut wurden, beschränkt sich der Anbau in den letzten Jahren in Deutschland auf weniger als 5000 ha. 50% der Anbaufläche liegt in Brandenburg auf den leichten Sandböden. Gegenwärtig bestehen zur Bekämpfung von einjährigen ein- und zweikeimblättrigen Unkrautarten nur für Callisto und Ciral Genehmigungen nach §§ 18, 18a PflSchG (1998), die Ende 2014 mit der Zulassung dieser Herbizide enden. Da der konkurrenzschwache Öllein ohne chemische Unkrautbekämpfung auf vielen Standorten nicht etabliert werden kann, wurden im Rahmen der Lückenindikationen verschiedene Produkte bezüglich ihrer Herbizidwirkung und phytotoxischer Beeinträchtigung der Kulturpflanze geprüft. Bis 2008 dominierte im Leinanbau das Mittel Concert. Mit der Splittinganwendung dieses Herbizides konnte ein breites Unkrautspektrum erfasst werden. Nach dem Widerruf von Concert durch den Hersteller und dem Vertrieb der neuen, wirkstoffgleichen Concert SX-Formulierung entfiel die §§ 18, 18a Genehmigung. In Versuchen mit Concert SX wurden neben der bekannten Blühverzögerung, die die Wirkstoffe Thifensulfuron und Metsulfuron verursachen, zumindest an einzelnen Versuchsstandorten weitere phytotoxische Beeinträchtigungen der Kulturpflanze (stärkere Wuchshemmung und vereinzelt Ausdünnung des Bestandes) bonitiert. Seit 2008 steht zur Nachauflaufbehandlung nur noch Ciral zur Verfügung. Ciral konnte bei *Galium aparine*, *Polygonum aviculare*, *Fallopia convolvulus* *Viola arvensis*, *Chenopodium album* und *Fumaria officinalis* oft nur eine unzureichende Herbizidwirkung realisieren. Deshalb wurden in den letzten Jahren weitere Herbizide insbesondere aus der Sulfonylharnstoffgruppe geprüft. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass nur wenige der geprüften Herbizide aufgrund der phytotoxischen Beeinträchtigung der Kulturpflanze in Frage kommen, über Artikel 51 VO 1107/2009 die Herbizidpalette im Öllein zu erweitern.

Stichwörter: Herbizidwirkung, Nachauflauf, Phytotox, Stetigkeit, Sulfonylharnstoffe,

Abstract

In 1999 more than 68,000 hectares linseed was cultivated in Brandenburg. Today the production has decreased to 5,000 hectares throughout Germany. Fifty percent of the production sites are still in Brandenburg with its sandy soils. According to §§ 18, 18a PflSchG (1998) the herbicides Callisto and Ciral are approved for the control of annual mono- and dicotyledonous weeds until the end of 2014. Various products have been tested for their herbicidal activity and phytotoxic disturbance of the crop because linseed is hard to grow on many sites without chemical weed control. Until 2008 the herbicide Concert dominated linseed production because of its ability to include a wide range of different weeds through splitting application. The §18, §18a approval for Concert ended because the manufacturer recalled Concert and released Concert SX, a generic equivalent with the same active ingredients. The ingredients thifensulfuron and metsulfuron in Concert SX have been known to cause delayed blooming. In experiments with Concert SX more phytotoxic damage to the linseed crop like growth inhibition and thinning of inventory could be determined at some test sites. Since 2008 for postemergence application only Ciral is available, but insufficient effects on *Galium aparine*, *Polygonum aviculare*, *Fallopia convolvulus*, *Viola arvensis*, *Chenopodium album*, and *Fumaria officinalis* could be detected. Therefore other herbicides e.g. sulfonylurea were given particular attention in the last few years. The experimental results show that only a few of the tested herbicides, due to the phytotoxic disturbance of the linseed crop, can be used in order to widen the range of herbicides following the regulations of Artikel 51 VO 1107/2009.

Keywords: Frequency, herbicide efficacy, post-emergence application, sulfonyl-ureas

Einleitung

Die Nutzung des Ölleins ist vielseitig. Die unverarbeiteten Leinsamen finden im Nahrungsmittelbereich, z. B. als diätisches Produkt oder in der Backwarenerzeugung Verwendung. Der hohe Gehalt an ungesättigten Fettsäuren (Linolensäure 58 – 62 %, Linolsäure 13 – 15 %, Ölsäure 16 – 18 %) machen das Leinöl nicht nur im Nahrungsmittelsektor und diätetischen Bereich sondern auch für die industrielle Verwertung interessant (PATSCHE und ADAM, 1996). Aufgrund seines hohen Eiweißgehaltes (42 – 46 %) ist er eine wertvolle Proteinquelle, weshalb der von der Öllherstellung verbleibende Ölkuchen als Futtermittel verwertet wird (MUIR und WESTCOTT, 2003). Für industrielle Zwecke wird Leinöl vorwiegend als Grundstoff für Farben und Lacke genutzt.

Vor 1990 war der Leinanbau in der Bundesrepublik Deutschland fast vollständig zum Erliegen gekommen. Gemäß der 1992 beschlossenen GAP-Reform wurde ab dem Wirtschaftsjahr 1993/94 die bis dahin gültige Verarbeitungsbeihilfe- und Mindestpreisregelung innerhalb der EU abgeschafft und durch hektarbezogene Beihilfen für bestimmte Kulturpflanzen, darunter auch Öllein, ersetzt. Da der Öllein nach den EU-Rahmenbedingungen nicht zu den Ölsaaten zählt, unterlagen diese Flächenbeihilfen nicht den möglichen Kürzungen beim Überschreiten der garantierten Höchstfläche (GHF). Durch die niedrigen variablen Kosten und die hohen Beihilfen war besonders auf ertragschwachen Standorten der Ölleinanbau durchaus wirtschaftlich. Mit Inkrafttreten der Verordnung (EG) Nr. 1251/1999 wurde die Flächenbeihilfe für Leinsamen ab dem Wirtschaftsjahr 2002/03 dem Getreide angeglichen. Ab dem Jahr 2000 galten Übergangsregelungen. Diese Maßnahmen spiegeln sich auch im Anbauumfang des Ölleins wider. In den 1990er Jahren war ein stetiges Wachstum des Ölleinanbaus zu verzeichnen. Dieses gipfelte im Jahr 1999 mit einer bundesweiten Anbaufläche von ca. 187000 ha. Ab dem Jahr 2000 war ein Abwärtstrend zu beobachten. Während der Anbauumfang in diesem Jahr noch ca. 100000 ha in Deutschland betrug, reduzierte er sich ab 2001 noch einmal drastisch. Seit 2007 stagniert der Ölleinanbau auf einem etwa gleichbleibenden Niveau zwischen 4000 und 7000 ha deutschlandweit. Hauptanbauggebiet ist Brandenburg mit ca. 50 % der bundesdeutschen Anbaufläche.

Die Ölleinerträge unterliegen gerade auf leichten Sandböden in Abhängigkeit von der Jahreswitterung größeren Schwankungen. Generell ist für einen dauerhaft rentablen Ölleinanbau wichtig, dass ein Ertragsniveau von mehr als 10 bis 12 dt/ha erreicht wird. Da der Öllein über eine sehr geringe Konkurrenzskraft gegenüber Unkräutern verfügt, sind gezielte Maßnahmen der Unkrautbekämpfung für die Entwicklung der Kultur unumgänglich. Bis zum Jahr 2000 gab es keine zugelassenen Herbizide im Öllein.

Bis 2001 gab es in der Bundesrepublik Deutschland die sogenannte Vertriebs- bzw. Verkehrszulassung von Pflanzenschutzmitteln (PSM). Somit bestand die Möglichkeit Herbizide mit anderen Indikationen, z. B. aus dem Getreide auch im Öllein einzusetzen. Im Regelfall war der Einsatz dann möglich, wenn an der Kulturpflanze keine irreversiblen Schäden auftraten. In der DDR war gesetzlich das Prinzip der Indikationszulassung verankert. Für Öllein gab es keine explizit zugelassenen Pflanzenschutzmittel. Im Faserlein konnten Produkte mit dem Wirkstoff MCPA und DNOC (4,6 Dinitro-o-kresol) zur Anwendung kommen. Eine Übertragung der Zulassung auf Öllein war jedoch nicht möglich.

Tab. 1 Möglichkeiten der Herbizidbehandlungen im Öllein vor und nach Einführung der Indikationszulassung.**Tab. 1** Possibilities of herbicide treatments in linseed before and after introduction of the indication approval.

	Wirkstoff	Wirkstoffgehalt (g/kg bzw.g/l)	Produkt- bezeichnung	Aufwandmeng e (kg/ha bzw. l/ha)	Bemerkungen
Anwendung bis 2001	Bromoxynil	100,0	Extoll	1,5	Zulassung in Faserlein bis 12/2004
	Bentazon	250,0			
	Bentazon	480,0	Basagran	2,0	
	Bromoxynil	235,0	Certrol B	0,5 - ,075	
	Metsulfuron	65,6	Concert	0,03; 0,03	Splitting- anwendung
	Thifensulfur on	657,3			
	Metsulfuron	179,0	Gropper	0,015	
	MCPA	500,0	U 46 M-Fluid	0,8	
Sulcotrione	300,0	Mikado	1,0		
Zulassunge n bzw. Genehmig- ungen ab 01.07.2001 nach §§ 18, 18a PflSchG (1998)	Mesotrione	100,0	Callisto	1,5	Genehmigung bis 2003 in Faserlein, ab 2004 in Lein
	Metsulfuron	160,8	Ciral	0,025	Genehmigung ab 2002
	Flupyr sulfur on	307,8			
	Metsulfuron	65,6	Concert	0,03; 0,03	Genehmigung von 2001 bis 2008
	Thifensulfur on	657,3			
Fluazifop-P	107,0	Fusilade Max	1,0 bzw. 2,0	Genehmigung ab 2001	

Seit 1990 wurde im gesamten Bundesgebiet die Vertriebszulassung gesetzlich vorgeschrieben (Tab. 1). Aus diesem Grund wurden in den neunziger Jahren Versuche durchgeführt, um Herbizide zu finden, die bei ausreichender Verträglichkeit gegenüber der Kulturpflanze eine hohe Herbizidleistung ermöglichen. Vorwiegend wurden Getreide- und Maisherbizide geprüft. Im Vorfeld der Einführung der Indikationszulassung stand die Frage, wie die Indikationslücken geschlossen werden können. Das Verfahren der Lückenindikation, verankert im Pflanzenschutzgesetz von 1998 unter den §§18,18a Genehmigungsverfahren und §18b Genehmigung im Einzelfall, sollte neue Möglichkeiten erschließen, um z. B. auch eine Unkrautbekämpfung im Öllein abzusichern. Im Genehmigungsverfahren nach §§18, 18a mussten neben den Verträglichkeitsversuchen auch GLP gerechte Rückstandsversuche und ggf. auch Metabolismusstudien für die geprüften Herbizide eingereicht werden (Richtlinie 96/68/EG 1996). Demnach waren zusätzliche Metabolismusstudien erforderlich, wenn die aus den Anforderungen des Anhangs II der Richtlinie 91/414/EWG erhaltenen Daten über den Wirkstoff nicht zu extrapolieren waren. Das betraf u. a. Kulturen, für die im Rahmen der Aufnahme des Wirkstoffs in Anhang I der Richtlinie keine Daten vorlagen oder eine Übertragung aus den Metabolismusstudien anderer Kulturartengruppen nicht möglich war. Für das Herbizid Concert SX konnte im Rahmen des Verfahrens wegen unzureichender Metabolismusstudien keine Genehmigung erteilt werden. Somit war es erforderlich weitere Herbizide zu prüfen, um ggf. neue Lösungsmöglichkeiten für die Unkrautbekämpfung in Öllein aufzeigen zu können (Tab. 2).

Tab. 2 Weitere, im Rahmen der Lückenindikation geprüfte Wirkstoffe und die entsprechenden Herbizide mit Anmerkungen zu phytotoxischen Auswirkungen auf die Kulturpflanze.

Tab. 2 More, in the framework of a minor use procedure tested active ingredients and the corresponding herbicides with annotations to phytotoxic effects on the crop.

Wirkstoff	Wirkstoffgehalt (g/kg bzw. g/l)	Produkt- bezeichnung	Aufwandmenge (kg/ha bzw. l/ha)	Bemerkung/Phytotox
Prüfung vorwiegend vor der Einführung der Indikationszulassung 2001				
Bromoxynil	100,0			
Pyridat	300,0	Duogranol	1,5 - 2,0	
Bromoxynil	75,0			
Pendimethalin	300,0	Pendimox	1,5 - 3,0	
Sulcotrion	300,0	Mikado	1,5 0,5; 0,5	VA-Anwendung Wuchshemmung, Ausdünnung bei NA-Anwendung
Clomazone	360,0	Cirrus CS	0,25	VA-Anwendung Totalausfall der Kultur
Amidosulfuron	750,0	Hoestar	0,03	
Prüfung vorwiegend nach der Einführung der Indikationszulassung 2001				
Flupyrsulfuron	462,97	Lexus	0,025	
Iodosulfuron	48,0	Husar	0,2	
Tritosulfuron	714,0	Biathlon	0,07	vereinzelt Wuchshemmung
Haloxyfop-P	104,0	Gallant Super	0,75	
Iodosulfuron	11,6	Hoestar	0,15	
Amidosulfuron	125,0	Super	0,15	
Foramsulfuron	300,0	MaisTer +	0,15 + 2,0	Wuchshemmung, Ausdünnung
Iodosulfuron	9,6	Mero*		
Nicosulfuron	40,0	Motivell	0,75 - 0,8	
Thifensulfuron	482,0			
Tribenuron	241,0	Refine Extra	0,035 - 0,04	Wuchshemmung, Blühverzögerung
Thifensulfuron	320,0	Refine Extra	0,05	Wuchshemmung, Aufhellung, Ausdünnung
Tribenuron	160,0	SX		
Mesotrione	360,0	Arigo		
Nicosulfuron	120,0	+ DuPont	0,3 + 0,3	Wuchshemmung, Nekrosen, Ausdünnung
Rimsulfuron	30,0	Trend*		
Bromoxynil	401,6	Xinca	0,44	
Iodosulfuron	5,6	Atlantis WG	0,15 + 0,3	
Mesosulfuron	29,2	+ Genapol*		
Florasulam	25,0	Primus	0,2	Ausdünnung, Blühverzögerung
Clopyralid	300,0	Perfect		
Ethametsulfuron	750,0	Salsa + DuPont Trend*	0,025 + 0,3	

* verwendete Additive

Material und Methoden

Für die Auswahl geeigneter Herbizidvarianten sind Kenntnisse über das Unkrautspektrum, die Stetigkeit, die Besatzstärke der Unkrautarten und ihre Vergesellschaftung am jeweiligen Versuchsstandort notwendig. Zur Ermittlung dieser Parameter wurden die unbehandelten Kontrollparzellen von insgesamt 48 Versuchsstandorten der Jahre 1996 - 2013 herangezogen. Erfasst wurden alle vorkommenden Unkrautarten (einschließlich Ausfallkulturen). Die ermittelte Rangfolge der Unkräuter basiert auf der jeweils berechneten Stetigkeit nach BRAUN-BLAUNQUET (1964). Diese gibt Auskunft über den prozentualen Anteil des Vorkommens einer Art bezogen auf die Gesamtheit der untersuchten Standorte. Die Auswahl der Standorte erfolgte nach dem Vorhandensein eines möglichst breiten Unkrautspektrums. Aus diesem Grund bezieht sich die Stetigkeit nur auf die Versuchsflächen.

Die Versuche wurden in Streulage auf landwirtschaftlichen Praxisflächen unter unterschiedlichen Boden- und Witterungsbedingungen als randomisierte Blockanlagen mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Parzellengrößen betragen in der Regel 20 m². Die Behandlungen erfolgten mit Parzellenspritzgeräten entsprechend der GEP-Leitlinie. Die Wasseraufwandmengen betragen 300 l/ha. Die Bonituren erfolgten nach der EPPO Richtlinie PP1/138 (2). Die Wirkung auf Schädelpflanzen wurde visuell als Reduzierung der Biomasse im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert. Bei der Bewertung der Unkrautwirkung wurden i. d. R. die Ergebnisse der Abschlussbonitur herangezogen. Um die Streuung der Wirkungsgrade darzustellen, wurde bei einer ausreichend großen Anzahl von Ergebnissen die Boxplotdarstellung gewählt. Die Boxplots wurden mit den jeweiligen Parzellenwerten der einzelnen Varianten erstellt. Die numerische Zahlenangabe in oder neben den Plots bezieht sich auf die Anzahl der Versuche. In der Tabelle 2 sind die geprüften Herbizide aufgelistet.

Ergebnisse

Aus der Abbildung 1 ist ersichtlich, dass *Chenopodium album* (L.), *Fallopia convolvulus* (L.) und *Viola arvensis* MURRAY mit deutlich höherer Stetigkeit auftraten als die anderen genannten Arten.

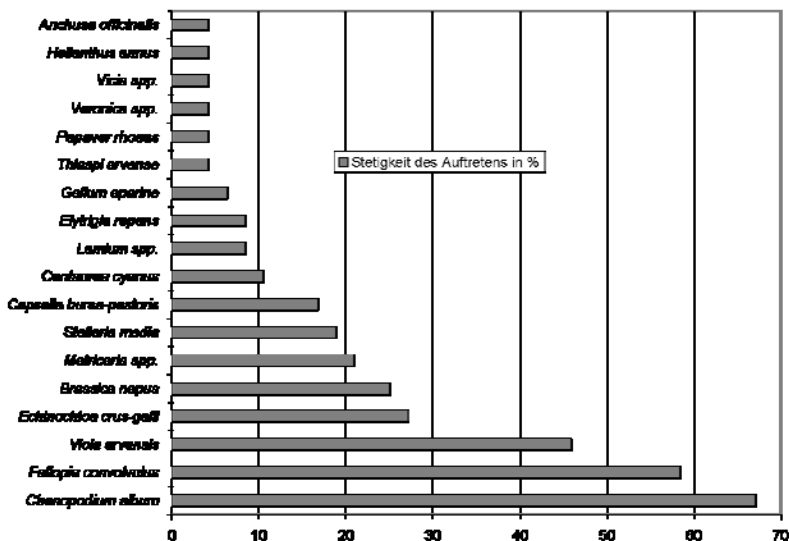


Abb. 1 Stetigkeit (%) der Unkrautarten, die auf 48 Versuchsstandorten auftraten (1996 – 2013).

Fig. 1 Frequency (%) of weeds on 48 trial sites (1996 – 2013).

Ziel der Untersuchungen war es geeignete Herbizidvarianten zu finden, um vorrangig diese drei Unkrautarten gut zu kontrollieren und dabei die Auswirkungen phytotoxischer Schäden möglichst gering zu halten.

Das Herbizid Extoll mit den Wirkstoffen Bentazon und Bromoxynil hatte als einziges Produkt in den 90er Jahren eine Zulassung im Lein (Faserlein). Geprüft wurde das Produkt sowohl in der einmaligen Sol oanwendung, als Splitting-Anwendung sowie in Tankmischungen mit Mikado bzw. Gropper. Abbildung 2 spiegelt die gute Wirkung bei einmaliger Applikation von 1,5 l/ha Extoll gegen *C. album*, *F. convolvulus*, *Matricaria chamomilla* (L.) und *Stellaria media* (L.) wider. Die Ausnahme bildet *V. arvensis*. Das wird auch durch den geringeren Medianwert und die größere Streuung der Ergebnisse verdeutlicht. Mit der zweimaligen Anwendung von 1,5 l/ha Extoll konnten nur geringfügig bessere Wirkungsgrade erreicht werden. Beide Varianten zeichneten sich durch eine gute Kulturpflanzenverträglichkeit aus. Durch die Kombination von 1,25 – 1,5 l/ha Extoll mit 0,3 – 0,5 l/ha Mikado (Sulcotrion) konnte die Wirkung auf *V. arvensis* deutlich verbessert werden. Es wurden aber z.T. erhebliche Reduzierungen der Wuchshöhe der Kulturpflanzen beobachtet. Diese Pflanzenschädigungen am Öllein wurden nur nach der Anwendung von Mikado im Nachauflauf, auch in Solo- und Splittinganwendungen dieses Produktes, auffällig. Nach Voraufaufapplikationen wurden keine phytotoxischen Veränderungen der Kulturpflanzen beobachtet.

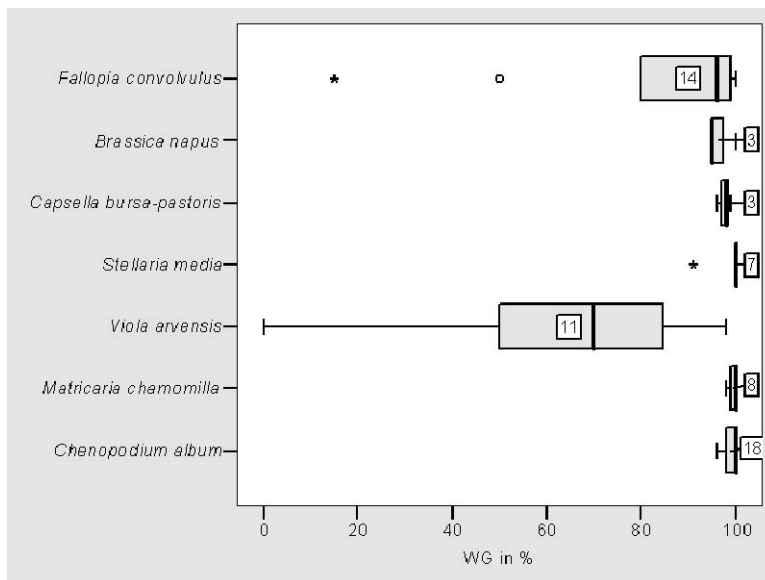


Abb. 2 Wirkungsgrade von 1,5 l/ha Extoll (Ergebnisse aus 18 Versuchen im Zeitraum von 1996 – 2003).

Fig. 2 Efficacy of 1.5 L/ha Extoll (Results from 18 trials in a period of 1996-2003).

Abbildung 3 zeigt die Wirkungsgrade einer einmaligen Anwendung von 0,2 kg/ha Husar gegen die wichtigsten drei Unkrautarten im Öllein. Das Leitunkraut *C. album* konnte mit dieser Variante nicht ausreichend erfasst werden. Die Spritzfolge mit jeweils 70 g/ha Husar erzielte mit durchschnittlich 72 % noch geringere Wirkungsgrade gegen den Weißen Gänsefuß. Phytotoxische Schäden traten in beiden Varianten nicht auf.

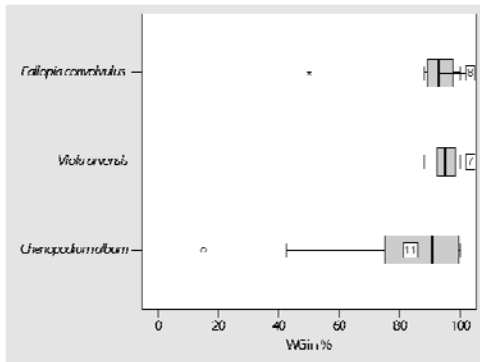


Abb. 3 Wirkungsgrade von 0,2 kg/ha Husar (Ergebnisse aus 11 Versuchen im Zeitraum von 2001 – 2004).

Fig. 3 Efficacy of 0.2 kg/ha Husar (Results from 11 trials in the period of 2001 – 2004).

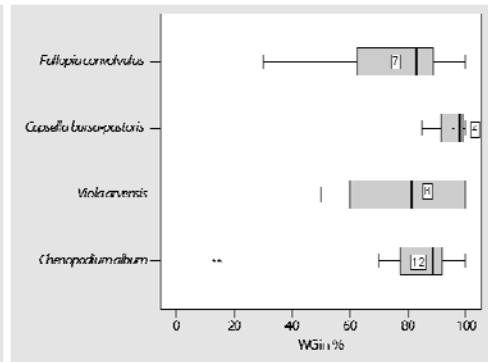


Abb. 4 Wirkungsgrade von 0,15 kg/ha Hoestar Super (Ergebnisse aus 12 Versuchen im Zeitraum von 2000 – 2003)

Fig. 4 Efficacy of 0.15 kg/ha Hoestar Super (Results from 12 trials in the period of 2000 – 2003).

Hoestar Super mit den Wirkstoffen Iodosulfuron und Amidosulfuron ist in der Schweiz zur Bekämpfung dikotyler Unkräuter in Öllein zugelassen. In Versuchen aus den Jahren 2000 – 2003 in Brandenburg und Sachsen-Anhalt konnten mit einer Aufwandmenge von 0,15 kg/ha mittlere Wirkungsgrade von ca. 80 % gegen *F. convolvulus* und ca. 90 % gegen *C. album* erzielt werden (Abb. 4). Bei Erhöhung der Aufwandmenge auf 0,20 kg/ha traten vereinzelt Wuchshemmungen und Blühverzögerungen auf.

Die Anwendung von Callisto mit dem zu den Triketonen (HRAC: F2) gehörendem Wirkstoff Mesotrione war bis 2003 im Rahmen einer Genehmigung nach §§ 18,18a PflSchG (1998) nur in Faserlein möglich. Seit der Wiedezulassung 2004 gilt die allgemeine Indikation Lein. Die Applikation erfolgt im Voraufbau des Leins. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich ist, verfügt Callisto über eine gute Breitenwirkung. Für *Brassica napus* L., besonders aber für *P. convolvulus* wurde jedoch wiederholt in den Jahren eine große Streuung der Wirksamkeitsergebnisse ermittelt.

Die Zulassung von Ciral (Metsulfuron, Flupyrsulfuron) erfolgte im Juni 2002 und in deren Rahmen auch die Genehmigung nach §§ 18,18a PflSchG (1998) für die Bekämpfung einjähriger ein- und zweikeimblättriger Unkräuter im Öllein. Durch das breite Wirkungsspektrum werden *M. chamomilla*, *S. media*, *B. napus*, *Capsella bursa-pastoris* (L.), *Lamium purpurea* L. und vor allem *Centaurea cyanus* L. gut erfasst. Die Abbildung 6 verdeutlicht aber auch die Wirkungsschwäche gegenüber den im Lein häufig auftretenden Unkrautarten *C. album*, *F. convolvulus* und *V. arvensis*. Durch die Applikation im Splitting von zweimal 12,5 g/ha konnte die Wirksamkeit gegenüber dem Windknöterich auf 97 % verbessert werden. Auch die Wuchsbbeeinflussung der Kulturpflanzen fiel in der Summe geringer aus (ca. 20 % der Versuche) als bei der einmaligen Applikation der vollen Aufwandmenge von 25 g/ha (ca. 32 % der Versuche).

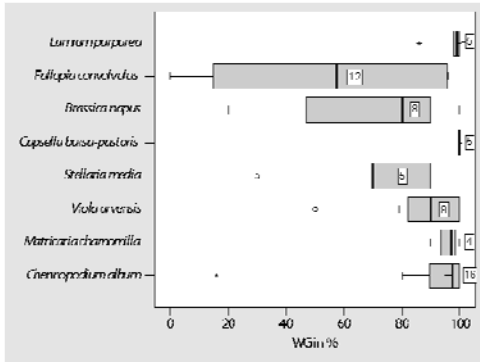


Abb. 5 Wirkungsgrade von 1,5 l/ha Callisto (Ergebnisse aus 16 Versuchen im Zeitraum von 2001 – 2006).

Fig. 5 Efficacy of 1.5 L/ha Callisto (Results from 16 trials in the period of 2001 – 2006).

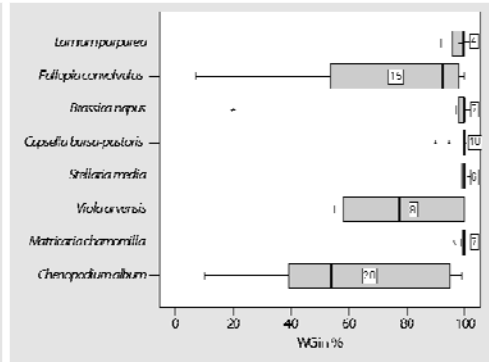


Abb. 6 Wirkungsgrade von 25 g/ha Ciral (Ergebnisse aus 20 Versuchen im Zeitraum von 2001 – 2013).

Fig. 6 Efficacy of 25 g/ha Ciral (Results from 20 trials in the period of 2001 – 2013).

In 30 Versuchen in den Jahren 1996 – 2005 konnten manifestierte Aussagen über die Wirkungsgrade der Anwendung von jeweils 30 g Concert im Splitting-Verfahren getroffen werden (Abb. 7). Die erste Applikation erfolgte bei einer Wuchshöhe von ca. 2 cm der Kulturpflanze, die zweite bei etwa 8 – 10 cm. Mit dieser Splittingmaßnahme konnten neben den sehr guten Wirkungsgraden gegen *M. chamomilla*, *S. media*, *B. napus* auch *V. arvensis*, und *F. convolvulus* erfolgreich bekämpft werden.

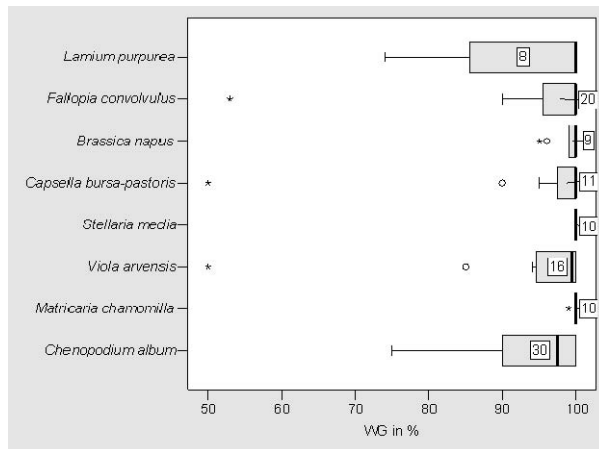


Abb. 7 Wirkungsgrade von Concert, 30; 30 g/ha im Splitting (Ergebnisse aus 30 Versuchen im Zeitraum von 1996 – 2005).

Fig. 7 Efficacy of Concert, 30; 30 g/ha splitting-application (Results from 30 trials in the period of 1996 – 2005).

Phytotoxische Schädigungen traten meist in Form von Wuchshemmungen und verstärkter Ausbildung von Seitentrieben auf, die sich jedoch, wie die Ergebnisse beernteter Versuche zeigten, nicht negativ auf den Ertrag auswirkten. Auch in früheren Versuchen von PATSCHKE und ADAM (1996) konnten signifikante Mehrerträge trotz einer Induzierung der Basal- und Terminalverzweigung durch die Anwendung von Concert ermittelt werden.

Im Vergleich zu dem Nachfolgeprodukt Concert SX wurden nur geringe Unterschiede in den Wirkungsgraden gegen die bedeutendsten Unkräuter im Öllein deutlich (Abb. 8). Im Gegensatz zu Concert (wasserdispergierbares Granulat) liegt Concert SX in der Formulierung als wasserlösliches Granulat vor.

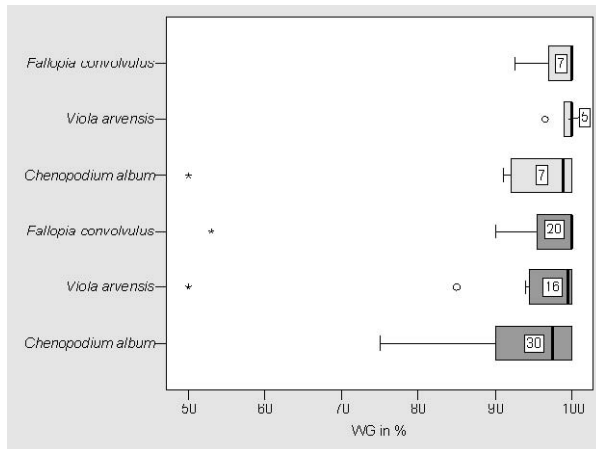


Abb. 8 Vergleich der Wirkungsgrade der Splitting-Behandlungen von 30; 30 g/ha Concert (dunkelgrau, Ergebnisse aus 30 Versuchen) und 50; 50 g/ha Concert SX (hellgrau, Ergebnisse aus 7 Versuchen).

Fig. 8 Comparison of the efficacy of splitting-application 30; 30 g/ha Concert (dark grey, results from 30 trials) and 50; 50 g/ha Concert SX (light grey, results from 7 trials).

Auf der Suche nach geeigneten Herbizidvarianten im Öllein erfolgte die Prüfung weiterer Wirkstoffe und neuer Produkte. Hinsichtlich der Pflanzenverträglichkeit beschränkte sich die Auswahl mehrheitlich auf Sulfonylharnstoffprodukte aus dem Bereich der Mais- und Getreideherbizide (Tab. 2). Die Kombination der Wirkstoffe Nicosulfuron, Rimsulfuron und Mesotrione des Produktes Arigo führte besonders in Tankmischung mit weiteren Herbiziden (z. B. Ciral) zu erheblichen phytotoxischen Beeinträchtigungen der Leinpflanzen, die sich in Form von Nekrosen, Wuchsveränderungen und Ausdünnung des Bestandes äußerten. Die Applikation von Primus Perfect (Florasulam, Clopyralid) bewirkte neben einer starken Ausdünnung eine Blühverzögerung der verbliebenen Kulturpflanzen. Bestandesausdünnung und Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums wurden auch nach der Anwendung von MaisTer (Foramsulfuron, Iodosulfuron) + Formulierungshilfsstoff Mero beobachtet. Die Voraufapplikation von Cirrus (Clomazone) hatte einen Totalausfall der Kultur zur Folge. Eine sehr gute Pflanzenverträglichkeit wurde nach Applikation von Salsa (Ethamsulfuron) beobachtet. Die Wirkung gegen die häufig in Öllein auftretenden Unkräuter überzeugte jedoch nicht. In Einzelversuchen konnten mit Salsa hohe Wirkungsgrade gegen *Fumaria* spp. und *Geranium* spp. erzielt werden.

Diskussion

Mit der Harmonisierung des Pflanzenschutzrechtes in der Europäischen Union auf der Grundlage der EG-Richtlinie 91/414/EWG wurde Deutschland zur Einführung der Indikationszulassung (PALLUT, 1994) verpflichtet. Für Kulturen, die in geringem Umfang angebaut werden oder von geringer gesamtwirtschaftlicher Bedeutung sind, kommt es seit der Einführung der Indikationszulassung zu Engpässen bei der Bekämpfung von bestimmten Schadorganismen (ZORNBAACH, 1994). Zu diesen Kulturen mit einem geringen Anbauumfang zählt auch der Öllein. Parallel zur Einführung der Indikationszulassung wurde für das Herbizid Concert die Genehmigung nach §§ 18,18a PflSchG (1998) erteilt. Bis zum Widerruf der Zulassung durch den

Zulassungsinhaber galt die Anwendung von Concert aufgrund seines breiten Wirkungsspektrums im Splittingverfahren als die bevorzugte Herbizidmaßnahme in der landwirtschaftlichen Praxis. Wie aus unseren Versuchen hervorgeht, ist die Wirkung des Nachfolgeproduktes Concert SX durchaus vergleichbar (Abb. 8). Die breite Streuung beim Concert lag vermutlich in der größeren Anzahl der Versuche begründet. Bei suboptimalen Einsatzbedingungen von Concert, d.h. in erster Linie eine zu geringe Luftfeuchtigkeit nach der Applikation, konnten herbizide Minderwirkungen insbesondere gegenüber den Unkrautarten *C. album* und *L. purpurea* beobachtet werden (Abb. 8). PATSCHKE und ADAM (1996) wiesen bereits darauf hin, dass die von ihnen geprüften Sulfonylharnstoff-haltigen Herbizide eine Wuchsbeeinflussung am Lein induzieren. Diese manifestierte sich in einer mehr oder minder ausgeprägten Wuchsstauchung und Blühverzögerung. In unseren Versuchen konnten diese Symptome sowohl bei Concert als auch bei Concert SX beobachtet werden. Mit Ciral, ebenfalls ein Sulfonylharnstoff-haltiges Produkt, konnte die Bekämpfungslücke von Concert gegenüber der Kornblume *C. cyanus* geschlossen werden. Gegenwärtig besteht nur für Ciral im NA und Callisto im VA, basierend auf der Genehmigung nach §§ 18, 18a PflSchG (1998) die Möglichkeit einer Herbizidanwendung im Öllein in Deutschland. KARIMMOJENI *et al.* (2013) konnte in zweijährigen Versuchen mit den Wirkstoffen Bentazon, Bromoxynil und 2,4-D + MCPA eine ausreichende Herbizidleistung vorwiegend gegen *Eruca sativa* und *Convolvulus arvensis* realisieren. Diese Wirkstoffe wurden vor der Indikationszulassung 2001 auch in Deutschland im Öllein eingesetzt. Aufgrund fehlender Metabolismusstudien wurden sie jedoch nicht weiter in die Versuche einbezogen. Im Gegensatz dazu ist in einigen EU Ländern wie Österreich gegenwärtig z. B. der Einsatz der Wirkstoffe Amidosulfuron, Linuron, Metsulfuron und Thifensulfuron und in Frankreich die Anwendung der Wirkstoffe Amidosulfuron, Iodosulfuron, Bentazon, Bromoxynil und Clopyralid möglich.

Aufgrund der geringen Anbaufläche von Öllein, ist in Zukunft kaum mit regulären Zulassungen zu rechnen. Um eine chemische Unkrautbekämpfung als notwendige Maßnahme zur Bestandsetablierung zu gewährleisten, könnte in der Zukunft beispielweise das Verfahren der gegenseitigen Anerkennung genutzt werden. Da hierfür aber zunächst entsprechende Grundzulassungen nach neuer Verordnung 1107/2009 bestehen müssen, ist dieses Verfahren für den Öllein als minor use derzeit noch nicht möglich. Die in den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse können darüber hinaus genutzt werden, um im Einzelfall Bekämpfungslücken zu schließen. So besteht zur herbiziden Problemlösung die Möglichkeit einer Genehmigung auf Grundlage des §22 PflSchG für nicht rückstandrelevante Verwendungszwecke wie Vermehrungsanbau oder der Verwendung für technische Zwecke.

Literatur

- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie – Grundzüge der Vegetationskunde. Berlin, Wien, New York, Springer.
- KARIMMOJENI, H., A. G. PIRBALOTI, V. KANANI, A. GHAFORI und P. KUDSK, 2013: Influence of Postemergence Herbicides on Weed Management in Spring-Sown Linseed. *Agronomy Journal* **105** (3), 821-826.
- KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 2002: Die Lage der Landwirtschaft in der Europäischen Union. Bericht 2001. Brüssel, Luxemburg, 56.
- MUIR, A.D. und N.D. WESTCOTT, 2003: Flax: The genus *Linum*. Verlag Tylor and Francis.
- PALLUT, W., 1994: Indikationslücken im Pflanzenschutz – Ansätze zur Lösung des Problems in der Bundesrepublik Deutschland. *Mitt. BBA* **301** (43).
- PATSCHKE, K. und L. ADAM, 1996: Über Notwendigkeit, Möglichkeit und Effizienz von Pflanzenschutzmaßnahmen im Ölleinanbau. *Gesunde Pflanzen* **48** (6), 210-220.
- ZORNACH, W., 1994: Lückenindikation – Ein unlösbares Problem? *Mitt. BBA* **301**, 42.

Themenspektrum der Herbologie in Deutschland – dargestellt am Beispiel der „Unkrauttagung“ von 1955 bis 2012

Topics of weed science in Germany - as exemplified by the „German Conference on Weed Biology and Weed Control“ between 1955 and 2012

Jürgen Schwarz

Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81,
14532 Kleinmachnow, Deutschland
juergen.schwarz@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.093

Zusammenfassung

Unkräuter wurden schon früh als störende Begleiter des Ackerbaus beschrieben. Die direkte Bekämpfung erfolgte mechanisch, bis in den 1940er Jahren selektive Herbizide entdeckt wurden. Im Zuge dessen wurde auch die Unkrautforschung ausgedehnt. Um das behandelte Themenspektrum der Herbologie in Deutschland herauszuarbeiten, wurden die Tagungsbände der „Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung“, kurz „Unkrauttagung“, von 1955 bis 2012 durchgesehen.

Die bisher 25 stattgefundenen Unkrauttagungen behandelten in 159 Sektionen 1.639 Beiträge. Aus dieser Fülle werden einige Schwerpunkte und Besonderheiten dargestellt. In den 1950er und 1960er Jahren wurde der Flughäfer (*Avena fatua*) als bedeutsames Unkraut stark thematisiert. Die unerwünschten Nebenwirkungen von Herbiziden rückten in den späten 1960er Jahren in das Interesse der wissenschaftlichen Betrachtung und werden immer noch thematisiert. In den 1990er Jahren wurde verstärkt über Computermodelle in der Unkrautbekämpfung berichtet, ab dem Jahr 2002 ließ dies wieder nach. Auch die Auswirkungen der Agrarpolitik, anhand der Flächenstilllegungen, fanden sich anfangs der 1990er Jahr als Themenkomplex wieder. Seit dem Jahr 1994 wird über Themen des Precision Farming regelmäßig referiert, ab dem Jahr 2000 durchgehend mit einer eigenen Sektion.

Stichwörter: Geschichte, Resistenz, Precision Farming, Umwelt

Abstract

Weeds were described very early as an annoying thing of arable farming. The direct weed control was done mechanically until selective herbicides were discovered in the 1940s. Because of that the research in weed science was extended. To find out the topics of weed science in Germany the proceedings of the "Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung / German Conference on Weed Biology and Weed Control" between 1955 and 2012 were investigated.

The conference took place 25 times with 159 sections and 1,639 contributions. In this paper some priorities and specifications will be shown. In the 1950s and 1960s wild oat (*Avena fatua*) was an important weed. The unwanted side effects of herbicides have been in the spotlight since late 1960s and they are still discussed. In the 1990s up to 2002 reports about computer models for decision support were presented. Also the impact of agricultural policies as the mandatory set-aside was topic in the 1990s. Since 1994 Precision Farming was discussed regularly, since 2000 with an own section.

Keywords: Environment, history, precision farming, resistance

Einleitung

Unkraut wird schon sehr früh als lästiger Begleiter des Ackerbaus beschrieben, schon in der Bibel (1. Mose, Kapitel 3, Vers 17-18) findet sich das Zitat „...verflucht sei der Acker um deinetwillen, mit Kummer sollst du dich darauf nähren dein Leben lang. Dornen und Disteln soll er dir tragen ...“ (LUTHER, 1912). Die Regulierung von Unkraut war bis in das 18. und 19. Jahrhundert rein mechanisch, erst dann wurde Schwefelsäure bzw. Eisen- und Kupfervitriol als „Herbizid“ eingesetzt (HOCK *et al.*, 1995). In den 1940er Jahren wurden in England und den USA die chlorierten Phenoxycarbonsäuren entdeckt (HOCK *et al.*, 1995), damit war eine selektive Bekämpfung dikotyler Unkräuter in Getreide möglich.

Diese neuen Möglichkeiten verstärkten die Forschung auf dem Gebiet der Unkräuter. HASSEBRAUCK (1951) fasste die in Deutschland in den Jahren 1945 bis 1950 erschienen Publikationen der landwirtschaftlichen Pflanzenschutzforschung in einer Monografie zusammen. Dabei wurden für den Themenkomplex „Phanerogame Parasiten und Unkräuter“ für den Zeitraum 1945 bis 1950 lediglich 19 Fundstellen ausgewiesen, während im selben Zeitraum für den Komplex „Tierische Schädlinge“ 208 Fundstellen ausgewiesen wurden. Im Gegensatz dazu fand HASSEBRAUCK (1956) für den Zeitraum 1951 bis 1954 beim Themenkomplex „Phanerogame Parasiten und Unkräuter“ 82 Fundstellen (Komplex „Tierische Schädlinge“ 590 Fundstellen).

Schon kurz nach der Verfügbarkeit von Herbiziden wurden auch die Gefahren für die Umwelt, tatsächliche oder vermeintliche, thematisiert (ANONYM, 1956).

Die Forschungsthemen, die sich seit den 1950er Jahren ergeben haben, sind mannigfaltig. Es wird der Versuch unternommen, anhand der „Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung“, der sogenannten „Unkrauttagung“, das Themenspektrum der deutschen Herbologie näher zu beleuchten.

Material und Methoden

Die 23 gedruckten Tagungsbände der Unkrauttagung wurden gesichtet und das Inhaltsverzeichnis wurde digital in eine Datei übertragen. Die Beiträge der ersten Unkrauttagung (08. März 1955) sind mit Autor und Titel im Tagungsband der zweiten Unkrauttagung aufgelistet (RADEMACHER, 1957). Die Beiträge der dritten Unkrauttagung (05. März 1959) sind im Tagungsband der vierten Unkrauttagung aufgelistet (RADEMACHER und KIEWNICK, 1961), ebenfalls mit Nennung von Autor und Titel.

Anhand der Sektionen (ab der vierten Unkrauttagung) wurde eine Vorauswahl der abgehandelten Themenfelder vorgenommen. Innerhalb der Sektionen wurden die einzelnen Beiträge nach Schwerpunkten durchforstet. Dabei wurde besonders auf neue Themen und Besonderheiten geachtet.

Im Jahr 1968 wurde eine Sektion in 3 Teilbereiche aufgegliedert. Die Aufgliederung wurde bei der Anzahl der Sektionen nicht berücksichtigt.

Ergebnisse

In den 23 erschienen Tagungsbänden (RADEMACHER, 1957; RADEMACHER und KIEWNICK, 1961; RADEMACHER und KOCH, 1963; RADEMACHER und KOCH, 1965; RADEMACHER und KOCH, 1968; RADEMACHER *et al.*, 1970; RADEMACHER *et al.*, 1972; KOCH *et al.*, 1975; KOCH *et al.*, 1977; HURLE *et al.*, 1981; HURLE *et al.*, 1984; HURLE *et al.*, 1988; HURLE *et al.*, 1990; ZWARGER *et al.*, 1992; ZWARGER *et al.*, 1994; HAAS *et al.*, 1996; HAAS *et al.*, 1998; HAAS und HURLE 2000; HURLE *et al.*, 2002; HURLE *et al.*, 2004; GERHARDS und BELZ, 2006; GERHARDS und BELZ, 2008; NORDMEYER und ULBER, 2012) werden 1.639 Beiträge, inklusive der einleitenden Referate und der Einführungen (ohne Vorworte), verzeichnet. Eingerechnet sind zudem die in anderen Zeitschriften erschienenen Beiträge der ersten und dritten Unkrauttagung und die nicht gedruckten Beiträge dieser beiden Tagungen.

Die ab der vierten Unkrauttagung eingeführten Sektionen ergeben summiert 159 Themenbereiche, die teilweise mehrfach vorkommen können. Eingerechnet wurden die einführenden Vorträge, nicht jedoch das jeweilige Vorwort.

Tab. 1 Anzahl der Beiträge und Sektionen der Unkrauttagung von 1955 bis 2012.

Tab. 1 Number of articles and sections of the German Conference on Weed Biology and Weed Control between 1955 and 2012.

Jahr	Anzahl Beiträge	Anzahl Sektionen
1955	16	-
1956	24	-
1959	15	-
1961	27	4
1963	40	9
1965	52	9
1968	37	5
1970	34	7
1972	31	4
1975	46	7
1977	57	8
1981	51	7
1984	42	6
1988	53	7
1990	58	7
1992	79	8
1994	78	9
1996	79	7
1998	104	7
2000	108	7
2002	139	6
2004	129	8
2006	131	9
2008	115	9
2012	94	9

Aufgrund dieses Umfangs werden ausgewählte Themen und Schwerpunkte nachfolgend chronologisch aufgeführt.

1955 wurden in den 16 Beiträgen sehr unterschiedliche Themenfelder angesprochen 2 Beiträge beschäftigten sich z. B. mit Wurzelexudaten bei Getreide.

Im Jahr 1956 wurden 24 Beiträge verzeichnet, wovon 6 das Thema „Grünland“ hatten. Auch die Bekämpfung der perennierenden Unkräuter *Agropyron repens* und *Cirsium arvense* wurde bereits in Beiträgen thematisiert, ebenso Schäden durch Herbizide an den Kulturpflanzen Zwiebeln und Möhren.

Die Unkrauttagung des Jahres 1959 umfasste 15 Beiträge. Die Beiträge gaben ein breites und differenziertes Spektrum ab: 3 Beiträge beschäftigten sich mit *Tussilago farfara*, „Verbreitung von Unkrautsamen durch Mist und Wegerde“, „Bekämpfung des Acker-Fuchsschwanzes (*Alopecurus myosuroides*) in Winterweizen und Raps“, „Probleme der chemischen Unkrautbekämpfung in und an wasserführenden Gräben“, „Probleme bei der chemischen Unkrautbekämpfung auf Gleisanlagen“ und „Versuche zur chemischen Unkrautbekämpfung im Mais in der DDR“.

Im Jahr 1961 wurden in 4 Sektionen 27 Beiträge behandelt. In der Sektion „Bekämpfung grasartiger Unkräuter“ lag das Hauptaugenmerk auf der Bekämpfung von *Avena fatua*. In der Sektion „Unkrautbekämpfung in Hackfrüchten“ beschäftigte sich ein Beitrag mit dem Einsatz von Bandspritzern. In der Sektion „Referate aus verschiedenen Gebieten“ wurde unter anderem ein „Bericht über eine sowjetische Herbizidkonferenz in Moskau vom 29.11. bis 3.12. 1960“ gegeben.

Die Unkrauttagung des Jahres 1963 umfasste 9 Sektionen mit 40 Beiträgen. In der Sektion „Allgemeines“ wurden unter anderem ein „Bericht über den European Weed Research Council“ referiert. In der Sektion „Biologie der Unkräuter“ wurde über Temperatur- und Stickstoffansprüche der Ackerunkräuter berichtet. 4 Sektionen beschäftigten sich mit der Unkrautbekämpfung in „Rüben“; „Kartoffeln“; „Gemüse“ und „Zierpflanzen und Zierstauden“. Eine Sektion trug den Titel „Methodik von Herbizidprüfungen“.

Schon 1965 beschäftigte sich eine Sektion mit „Wandlungen in der Unkrautflora im Zuge von Standortsänderung und als Folge von Bekämpfungsmaßnahmen“, die Themen dieser Sektion schlossen Forst und Weinbau mit ein. Insgesamt wurden in 9 Sektionen 52 Beiträge verzeichnet. Ebenfalls 1965 wurde in der Sektion „Mittel zur Hemmung des Pflanzenwuchses“ in 4 von 7 Beiträgen über den Wachstumsregler CCC (Chlor-Cholin-Chlorid) referiert. Auch das Thema Direktsaat wurde in dem Beitrag „Über die Möglichkeiten des Direktsäverfahrens mit Hilfe von Paraquat“ angesprochen.

Seit dem Jahr 1968 wurden Wirkungen und Nebenwirkungen von Herbiziden in der Umwelt betrachtet. Die Unterteilung dieser Tagung erfolgte in 5 Sektionen. Davon wurde eine Sektion in 3 Teilbereiche untergliedert, insgesamt wurden 37 Beiträge gehalten. Die Sektion „Verhalten von Herbiziden in Boden und Pflanzen“ war in 3 Bereiche untergliedert: 1. Herbizide und Pflanzen, 2. Herbizide und Boden und 3. Rückstände. Als ein Thema tauchte auch die chemische Unkrautbekämpfung in Gewürz- und Arzneipflanzen auf.

Im Jahr 1970 wurden in 7 Sektionen 34 Beiträge verzeichnet. Die 1968 begonnene Betrachtungsweise der Nebenwirkungen von Herbiziden setzte sich mit den Sektionen „Verhalten von Herbiziden im Boden“, „Wirkungsweise und Verhalten von Herbiziden in Pflanzen“ und „Nebenwirkungen von Herbiziden auf Kulturpflanzen sowie das Auftreten von Pflanzenkrankheiten und -schädlingen“ fort. In der Sektion „Anwendungstechnik“ wurde in dem Beitrag „Die Überprüfung von Feldspritzgeräten mit transportablen Düsenprüfständen und Litermeßgeräten in der Praxis“ auf die Ausbringung der Herbizide eingegangen.

Die Unkrauttagung des Jahres 1972 umfasste 4 Sektionen mit 31 Beiträgen. In der Sektion „Einführende Vorträge“ wurde über „Notwendigkeit - Voraussetzungen - Möglichkeiten und Grenzen einer reduzierten Bodenbearbeitung“ berichtet. In der Sektion „Herbizide als ökologischer Faktor“ wurde in 6 der 16 Beiträge über den Verbleib und den Abbau von Herbiziden berichtet. Ebenfalls wurde in dieser Sektion über „Unkrautbekämpfung und Bienenschutz“ referiert.

Im Jahr 1975 wurden in 7 Sektionen 46 Beiträge gehalten. In dieser Tagung stand die Ökonomie mit einem einführenden Vortrag „Betriebswirtschaftliche Aspekte der Unkrautbekämpfung“ und der Sektion „Ökonomie der Unkrautbekämpfung“ stark im Vordergrund. Hervorzuheben ist die

Sektion „Sortenspezifische Reaktion von Kulturpflanzen auf Herbizide“, da hier die Reaktion unterschiedlicher Getreidesorten auf Herbizide thematisiert wurde.

Die Unkrauttagung 1977 umfasste 8 Sektionen mit 57 Beiträgen. Hier waren die Sektionen „Fruchtfolge und Unkraut“, „Bewirtschaftungsmaßnahmen und Unkraut“ und „Physikalische Maßnahmen“ zu nennen, die ein breites Spektrum nichtchemischer Maßnahmen der Unkrautkontrolle aufgriffen, wie z.B. „Entwicklung und Stand der Technik im thermischen Pflanzenschutz“. In der Sektion „Applikation und biologische Wirkung“ wurde auf reduzierten Wasseraufwand bei der Applikation eingegangen: „Einfluß der Wasseraufwandmenge auf die Wirkung von Herbiziden“.

Im Jahr 1981 wurden in 7 Sektionen 51 Beiträge verzeichnet. Die Sektion „Nebenwirkungen von Herbiziden“ nahm mit 17 Beiträgen einen großen Stellenwert ein. In der Sektion „Werden und Wandel der Acker-Unkrautvegetation“ wurden geschichtliche Funde aus der Urzeit und dem Mittelalter betrachtet. Ebenso wurde auf die Verunkrautung des Dauerdüngungsversuch Dikopshof von 1904 bis 1979 eingegangen.

Die Unkrauttagung des Jahres 1984 umfasste 6 Sektionen mit 42 Beiträgen. In der Sektion „Schadensschwellen in der Unkrautbekämpfung“ wurde die Thematik in 7 Beiträgen näher beleuchtet. Auch die elektronische Datenverarbeitung wurde in dem Beitrag „Die Rolle der EDV in der Pflanzenproduktion“ betrachtet.

Im Jahr 1988 wurden in 7 Sektionen 53 Beiträge verzeichnet. In der Sektion „Konkurrenz und Schadensschwellen“ wurden auch Modelle vorgestellt, z.B. „HERBY — ein Modell zur Herbizidwahl bei Winterweizen“. Das Themengebiet Abtritt erhielt eine Sektion zusammen mit den Nebenwirkungen: „Abtritt und Nebenwirkungen von Herbiziden“. Auch die „Unkrautregulierung durch Bodenbedeckung“ wurde in einer eigenen Sektion abgehandelt.

Die Unkrauttagung des Jahres 1990 behandelte in 7 Sektionen 58 Beiträge. Die geschichtlichen Veränderungen in Deutschland hatten auch Einfluss auf die Themen, es fand sich in den einführenden Vorträgen ein Beitrag mit dem Titel „Unkrautprobleme und Unkrautbekämpfung in der DDR“. In der Sektion „Populationsdynamik und Expertensysteme“ wurden weitere Computermodelle (SEP, HERBIDEX, HERBEXPERT) vorgestellt. In der Sektion „Interferenz und Schadensschwellen“ wurden allelopathische Effekte in 2 Beiträgen dargestellt.

Im Jahr 1992 wurden in 8 Sektionen 79 Beiträge verzeichnet. In der Sektion „Unkräuter im Agrökosystem“ wurden die Auswirkungen der damaligen Flächenstilllegung diskutiert. In der Sektion „Expertensysteme in der Unkrautbekämpfung“ wurden nun gezielt Modelle und deren Einsatzgebiete vorgestellt. Die Herbizidresistenz wurde als eigenständiges Thema in der Sektion „Herbizidresistenz und Entwicklungen in der Unkrautbekämpfung“ behandelt.

Die Unkrauttagung des Jahres 1994 behandelte in 9 Sektionen 78 Beiträge. Im einleitenden Referat wurde auf „Unkraut und Unkrautbekämpfung - veränderte Perspektiven“ eingegangen und besonders die gesellschaftliche Akzeptanz der Unkrautbekämpfung betont. Der Themenkomplex Flächenstilllegung erhielt eine eigene Sektion „Extensivierung und Flächenstilllegung“. Im Rahmen der Sektion „Informationssysteme in der Unkrautbekämpfung“ wurde auch Precision Farming mit dem Beitrag „Vierjährige Einsatzerfahrungen mit GPS und DGPS“ erwähnt. Auch das Thema „Automatische Erkennung von Unkrautarten mit digitaler Bildverarbeitung“ wurde in dieser Sektion besprochen. Die Sektion „Biologische Unkrautbekämpfung“ beschäftigte sich unter anderem mit Bioherbiziden.

Im Jahr 1996 wurden in 7 Sektionen 79 Beiträge verzeichnet. Das Thema Herbizidresistenz nahm einen großen Stellenwert ein, im einleitenden Referat wurde über „Herbizidresistente Unkräuter - das unvermeidbare Phänomen: Mechanismen, Verbreitung und Bedeutung“ berichtet. In der Sektion „Herbizidresistenz“ wurden dann einzelne Schwerpunkte beleuchtet. In der Sektion „Biologische, physikalische und mechanische Unkrautregulierung“ wurde unter anderem über die thermische Unkrautbekämpfung berichtet.

Die Unkrauttagung des Jahres 1998 behandelte in 7 Sektionen 104 Beiträge. In den beiden einleitenden Referaten wurde über „Gentechnisch veränderte Pflanzen: Vom Züchter zum Konsumenten“ und „Herbizidresistente Kulturpflanzen: Konsequenzen für die Unkrautbekämpfung“ berichtet. Das Thema der GMOs wurde in der Sektion „Herbizidresistenz in Kulturpflanzen/Unkräutern“ weiter behandelt, und es wurde über Erfahrungen z. B. mit Roundup-Ready-Raps berichtet. In den Sektionen „Unkrauterkenntnis und -verteilung“ und „Schadensschwelle/Wirtschaftlichkeit“ wurde über die teilflächenspezifische Unkrautkontrolle referiert.

Im Jahr 2000 wurden in 7 Sektionen 108 Beiträge verzeichnet. Das Thema der teilflächenspezifischen Unkrautkontrolle erhielt eine eigene Sektion „Precision farming in der Unkrautbekämpfung“. Auch das Thema der Resistenz und der GMOs wurde in der Sektion „Herbizidresistenz in Kulturpflanzen/Unkräutern“ mit 12 Beiträgen behandelt. Ebenfalls 12 Beiträge entfielen auf die Sektion „Auswirkungen auf Naturhaushalt und Umwelt“, hier wurde auch eine Ökobilanz der Unkrautbekämpfung im Weinbau vorgestellt.

Die Unkrauttagung des Jahres 2002 behandelte in 6 Sektionen 139 Beiträge. Dabei waren die Sektionen mit denen des Jahres 2000 identisch, es fehlte nur die Sektion „Herbizidresistenz in Kulturpflanzen/Unkräutern“. In der Sektion „Unkrautbiologie und -ökologie“ wurden sehr unterschiedliche Themen behandelt. Die schon im Jahr 2000 in dieser Sektion zu beobachtende Ausweitung auf Probleme der Herbologie außerhalb Deutschlands nahm zu, z. B. „Unkräuter in feuchten Vulkangebieten Süd-West Kameruns: Biologie und Bekämpfung in Bananenplantagen“ oder „Begleitwirkungen von Unkräutern im Ökosystem Kaffee in Chiapas, Mexiko“. In der Sektion „Wirtschaftlichkeit, Prognose und Modelle“ wurden „Strategien gegen die Entwicklung von Einfach- und Mehrfach-Herbizidresistenzen bei Unkräutern“ vorgestellt.

Im Jahr 2004 wurden in 8 Sektionen 129 Beiträge verzeichnet. Die einleitenden Referate betrachteten die Gegenwart und Zukunft der Unkrautbekämpfung aus (1) nordamerikanischer, (2) dänischer und (3) deutscher Sicht. Die Sektion „Ökologischer Landbau, nicht-chemische Verfahren“ beinhaltete 20 Beiträge. Die Sektion „Precision Farming“ hatte 14 Beiträge, es wurden auch Themen der räumlichen Unkrautverteilung behandelt. Die Sektion „Herbizidresistenz Kulturpflanze/Unkraut“ behandelte in 14 Beiträgen verstärkt die Resistenzen von Unkräutern gegenüber Herbiziden.

Die Unkrauttagung des Jahres 2006 behandelte in 9 Sektionen 131 Beiträge. In der Sektion „Precision Farming und Applikationstechnik“ mit insgesamt 12 Beiträgen wurde ein Beitrag mit dem Titel „Autonome Roboter zur Unkrautbekämpfung“ präsentiert. Das Thema Allelopathie erhielt eine Sektion mit dem Titel „Allelopathie und neue Unkrautarten“. In der Sektion „Biodiversität, Naturschutz und organischer Landbau“ wurde unter anderem über den Schutz der Ackerwildkräuter und deren ökologische Leistung referiert.

Im Jahr 2008 wurden in 9 Sektionen 115 Beiträge verzeichnet. Die Sektionen waren mit denen des Jahres 2006 identisch, lediglich die Reihenfolge wurde etwas geändert. Im einleitenden Referat „Important weed science issues today and tomorrow“ wurde über den Stand und die Zukunft der Herbologie referiert. In der Sektion „Neue Verfahren der chemischen Unkrautbekämpfung“ wurde über das neue Herbizid Clearfield und dessen Einsatz in Sonnenblumen berichtet.

Die Unkrauttagung des Jahres 2012 behandelte in 9 Sektionen 94 Beiträge. Die Sektion „Herbizidresistenz bei Unkräutern“ nahm mit 18 Beiträgen ca. 20 % des Tagungsbands ein. Die Sektion wurde im Vergleich zu früheren Tagungen umbenannt, die „Herbizidresistenz in Kulturpflanzen“ wurde weggelassen. Allerdings wurde nun auch in einem Beitrag über die Resistenzentwicklung von Unkräutern gegenüber Glyphosat berichtet. In der Sektion „Precision Farming und Anwendungstechnik“ wurde über „Selektive Unkrautbekämpfung mittels Lasertechnik“ referiert. Der Klimawandel erhielt erstmals eine eigene Sektion „Klimawandel und Neophyten“. Auch die zunehmende Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen wurde z. B. in dem Beitrag „The impact of the new energy crop sorghum on the weed flora“ thematisiert.

Diskussion

Dieser Beitrag unternimmt den Versuch, anhand der Unkrauttagung Themenspektren der deutschen Herbiologie aufzuzeigen. Dem Autor ist bewusst, dass die Auswahl der Themen einer Tagung durch das jeweilige Programmkomitee stark beeinflusst wird; einerseits durch die Themensetzung in der Vorbereitung bei der Tagungsankündigung und andererseits durch die Auswahl der Beiträge im Nachgang der eingereichten Vorschläge. Obwohl schon früh *Agropyron repens* und *Cirsium arvense* in den Beiträgen genannt wurden, war während der 1950er und 1960er Jahre *Avena fatua* ein oft thematisiertes Unkraut. In späteren Tagungen sind nur vereinzelt Beiträge zur Bekämpfung zu finden. Durch herbizidresistente Biotypen konnte *Avena fatua* jedoch wieder verstärkt in den Fokus rücken (AUGUSTIN, 2013). Der Klimawandel und die sich ändernde Unkrautflora wurden als eigenständige Sektion 2012 in das Programm aufgenommen.

„Internationale“ Themen wurden schon sehr bald behandelt, z. B. 1961 ein Bericht über eine Herbizidkonferenz in der Sowjetunion bzw. 1963 über das European Weed Research Council (dem Vorläufer der European Weed Research Society (EWRS)). Über Internationale Themen und Probleme der Herbiologie außerhalb Deutschlands wurde verstärkt nach den geschichtlichen Umwälzungen der Jahre 1989/90 berichtet.

Ende der 1960er Jahre wurde vermehrt über die Nebenwirkungen der Herbizide referiert und deren Auswirkungen z. B. auf den Boden erörtert. Diese Themen wurden auf den folgenden Tagungen in unterschiedlicher Intensität auf der Agenda behalten. Im selben Zeitraum (1970) wurde bereits über die Prüfung von Pflanzenschutzgeräten berichtet. Der Themenkomplex Applikationstechnik wurde 1975 erstmalig als eigene Sektion behandelt.

Die nichtchemischen Unkrautbekämpfungsmethoden wurden in den ersten Unkrauttagungen noch stark thematisiert, dann erst wieder ab Mitte der 1970er Jahre; ein Zusammenhang mit den unerwünschten Auswirkungen des Herbizideinsatzes scheint gegeben zu sein. In den 1990er Jahren wurden auch die sogenannten Bioherbizide als zu mindestens Teilersatz für die chemische Unkrautbekämpfung aufgeführt.

Auch der Einfluss der Agrarpolitik spiegelt sich in der Themenauswahl wieder, so wurden Anfang der 1990er Jahre die Auswirkungen der damaligen Flächenstilllegungen auf die Verunkrautung diskutiert, besonders vor dem Hintergrund der „Spontanbegrünung“.

Technische Neuerungen und Weiterentwicklungen wurden auf der Unkrauttagung reflektiert. So wurde 1984 über die ersten EDV-basierten Modelle berichtet. Dieses Themenfeld wurde auf den folgenden Tagungen ausführlicher behandelt und erhielt 1990 und 1992 auch eigene Sektionen. Im Jahr 2002 trug letztmalig eine Sektion diesen Titel.

Seit 1994 taucht auch das Themengebiet des Precision Farming regelmäßig auf und erhielt seit 2000 durchgehend eine eigene Sektion.

Literatur

- ANONYM, 1956: Die wuchsstoffhaltige Unkrautbekämpfung und ihre Wirkung auf die Honigbiene. Südwestdeutscher Imker **8**, 204-206.
- AUGUSTIN, B., 2013: Erstnachweis von Herbizidresistenz bei Fluhgras (*Avena fatua* L.) in Deutschland. Journal für Kulturpflanzen **65**, 351-354.
- GERHARDS, R. und R.-G. BELZ (HRSG.), 2006: Tagungsband 23. Deutsche Arbeitsgemeinschaft über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 7. bis 9. März 2006 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XX**.
- GERHARDS, R. und R.-G. BELZ (HRSG.), 2008: 24th German Conference on Weed Biology and Weed Control, March 4-6, 2008. Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue **XXI**.
- HAAS, H. U., A. KEMMER und K. HURLE (HRSG.), 1996: Beiträge zur 18. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 27. bis 29. Februar 1996 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XV**.
- HAAS, H. U., A. KEMMER und K. HURLE (HRSG.), 1998: Beiträge zur 19. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 10. bis 12. März 1998 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVI**.

- HAAS, H. U. und K. HURLE (HRSG.), 2000: Beiträge zur 20. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 14. bis 16. März 2000 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVII**.
- HASSEBRAUCK, K., 1951: Bericht über die Ergebnisse der deutschen landwirtschaftlichen Pflanzenschutzforschung 1945 – 1950. Landwirtschaftlicher Forschungsrat, Bonn, 66 Seiten.
- HASSEBRAUCK, K., 1956: Die Forschungen auf dem Gebiet der deutschen landwirtschaftlichen Pflanzenschutzforschung 1951-1954. Land- und Forstwirtschaftlicher Forschungsrat, Bonn, 200 Seiten.
- HOCK, B., C. FEDTKE und R. R. SCHMIDT, 1995: Herbizide – Entwicklung, Anwendung, Wirkungen, Nebenwirkungen. Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- HURLE, K., A. KEMMER, W. KOCH, F. MÜLLER, E. SANWALD und H. WALTER (HRSG.), 1981: Ergebnisse der 12. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 17. bis 19. Februar 1981 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **IX**.
- HURLE, K., A. KEMMER, W. KNAB, M. PULCHER, M. RETH und P. ZWERGER (HRSG.), 1984: Ergebnisse der 13. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 28./29. Februar 1984 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **X**.
- HURLE, K., A. KEMMER und P. ZWERGER (HRSG.), 1988: Ergebnisse der 14. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 1./2. März 1988 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XI**.
- HURLE, K., A. KEMMER und P. ZWERGER (HRSG.), 1990: Ergebnisse der 15. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 20./21. Februar 1990 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XII**.
- HURLE, K., R. BELZ und F.-M. DUX (HRSG.), 2002: Beiträge zur 21. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 5. bis 7. März 2002 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVIII**.
- HURLE, K., P. ZWERGER und R. BELZ (HRSG.), 2004: Tagungsband 22. Deutsche Arbeitsgemeinschaft über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 2. bis 4. März 2004 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XIX**.
- KOCH, W., K. HURLE und F. BISCHOF (HRSG.), 1975: Ergebnisse der 10. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 17. bis 19. Februar 1975 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **VII**.
- KOCH, W., K. HURLE, H. WALTER und A. KEMMER (HRSG.), 1977: Ergebnisse der 11. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 14. bis 16. Februar 1977 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **VIII**.
- LUTHER, M., 1912: Die Bibel. Quelle: http://bibel-online.net/buch/luther_1912/1_mose/3/#17 (abgerufen am 15.10.2013).
- NORDMEYER, H. und L. ULBER (HRSG.), 2012: Tagungsband 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 13. bis 15. März 2012 in Braunschweig. Julius-Kühn-Archiv **434**.
- RADEMACHER, B., 1957: Ergebnisse der 2. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 6./7. Dezember 1956 in Stuttgart-Hohenheim. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft **87**.
- RADEMACHER, B. und L. KIEWNICK (HRSG.), 1961: Ergebnisse der 4. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 2./3. März 1961 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz, Sonderheft **I**.
- RADEMACHER, B. und W. KOCH (HRSG.), 1963: Ergebnisse der 5. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 5./6. März 1963 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz, Sonderheft **II**.
- RADEMACHER, B. und W. KOCH (HRSG.), 1965: Ergebnisse der 6. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 5./6. März 1965 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz, Sonderheft **III**.
- RADEMACHER, B. und W. KOCH (HRSG.), 1968: Ergebnisse der 7. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 5./6. März 1968 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz, Sonderheft **IV**.
- RADEMACHER, B., W. KOCH und F. BISCHOF (HRSG.), 1970: Ergebnisse der 8. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 26./27. Februar 1970 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz, Sonderheft **V**.
- RADEMACHER, B., W. KOCH und K. HURLE (HRSG.), 1972: Ergebnisse der 9. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung am 29. Februar, 1. und 2. März 1972 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz, Sonderheft **VI**.
- ZWERGER, P., A. KEMMER und K. HURLE (HRSG.), 1992: Beiträge zur 16. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 10. bis 12. März 1992 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XIII**.
- ZWERGER, P., A. KEMMER und K. HURLE (HRSG.), 1994: Beiträge zur 17. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 22. bis 24. Februar 1994 in Stuttgart-Hohenheim. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XIV**.

Integrated control of annual weeds by inter-row hoeing and intra-row herbicide treatment in spring oilseed rape

Integrierte Regulierung einjähriger Unkräuter durch zwischenreihiges Hacken und Herbizid-Bandapplikation im Rapsanbau

Anders TS Nilsson^{1*}, Anneli Lundkvist², Theo Verwijst², Mikael Gilbertsson³, Per-Anders Algerbo³, David Hansson¹, Allan Andersson¹, Per Ståhl⁴ and Maria Stenberg^{5,6}

¹Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Biosystems and Technology, P.O. Box 103, SE-230 53 Alnarp, Sweden

²Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Crop Production Ecology, P.O. Box 7043, SE-750 07 Uppsala, Sweden

³JTI - Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Ideon Science Park, SE-223 63, Lund, Sweden

⁴Swedish Rural Economy and Agricultural Sciences in Östergötland, Järingården 13, SE-590 76 Vreta kloster, Sweden

⁵Swedish Rural Economy and Agricultural Sciences in Skaraborg, P. O. Box 124, SE-532 22 Skara, Sweden

⁶Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment, Precision agriculture and pedometrics, P.O. Box 234, SE-532 23 Skara, Sweden

*Corresponding author, anders.ts.nilsson@slu.se



DOI 10.5073/jka.2014.443.094

Abstract

The aim of this project is to develop an integrated weed control strategy against annual weeds in spring oilseed rape by means of a combined mechanical and chemical weed control which will be performed concurrently and separately.

The project encompasses field experiments in which different combinations of inter-row hoeing and intra-row herbicide treatments will be evaluated and compared to conventional weed control treatments with broadcast spraying of herbicides, and experiments in which an implement for concurrent inter-row hoeing and intra-row herbicide treatment will be refined and evaluated.

In 2012, an implement for intra-row spraying combined with row hoeing was developed and evaluated in two field experiments in spring oilseed rape in the southern part of Sweden. The effects of inter-row hoeing, intra row spraying, and combination of the two methods were compared with conventional broadcast spraying. Preliminary results showed that the best weed control effects were obtained with the combination of inter-row hoeing and intra-row spraying in both experiments. Regarding crop yield, the yield was significantly higher in the combined treatment in one of the experiments while no effects on the yields were obtained in the other experiment.

We envisage that the inter-row hoeing and intra-row herbicide treatment will diminish the overall use of herbicides to less than one third in comparison with the more conventional chemical weed control methods, while having the same weed control effect.

Keywords: *Brassica napus* L., chemical weed control, crop yields, efficacy, integrated weed management (IWM), mechanical weed control, reduced herbicide doses

Zusammenfassung

Ziel dieser Studie ist die Entwicklung einer integrierten Bekämpfung gegen einjährige Unkräuter im Raps im Frühjahr durch eine Kombination von mechanischen und chemischen Methoden in kombinierter oder separater Anwendung.

Das Projekt umfasst Feldexperimente, in welchen verschiedene Kombinationen von zwischenreihigem Hacken und der Bandapplikation von Herbiziden im Vergleich zu konventionellen Methoden der Unkrautbekämpfung verglichen und analysiert werden. Des Weiteren werden Experimente durchgeführt um ein Werkzeug für die parallele Anwendung der genannten Methoden zu evaluieren und zu verfeinern.

Im Jahr 2012 wurde ein Gerät zur gleichzeitigen Herbizid-Bandapplikation in der Reihe und zwischenreihigem Hacken entwickelt und auf zwei Rapsversuchsfeldern im Südschweden getestet. Die Effektivität von zwischenreihigem Hacken, Herbizid-Bandapplikation und der Kombination aus beiden Methoden wurde mit der konventionellen, ganzflächigen Herbizidapplikation verglichen. Vorläufige Ergebnisse zeigten, dass die

Wirkung der kombinierten Methode in beiden Versuchsanordnungen am höchsten war. In einem der Versuchsfelder war der Ernteertrag mit der kombinierten Methode signifikant erhöht, während in der anderen Versuchsanordnung keine Unterschiede im Ernteertrag feststellbar waren.

Wir erwarten, dass die Kombinationsmethode aus Bandapplikation und zwischenreihigem Hacken die benötigte Gesamtmenge von Herbiziden im Vergleich zur konventionellen ganzflächigen Herbizidapplikation bei gleichbleibender Wirksamkeit reduzieren wird.

Stichwörter: *Brassica napus* L., chemische Unkrautbekämpfung, Ernteertrag, Herbizid-Aufwandmenge, integrierte Unkrautbekämpfung, mechanische Unkrautbekämpfung, Wirkungsgrad

Introduction

Herbicide application is the most commonly used weed control method in crop rotations dominated by annual crops. However, the number of available herbicides is decreasing. At the same time, the development of herbicide resistance is increasing in Europe (KUDSK *et al.*, 2013). Also, farmers within the European Union have to apply integrated pest management (IPM) from 2014 (EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL OF THE EU, 2009). This has increased the need for development of alternative weed control measures with reduced amounts of herbicides.

Alternative control methods are mechanical weed control options which are often used in organic farming. For example, row hoeing in growing crops has shown to give control effects sometimes comparable to chemical weed control (MELANDER *et al.*, 2003, 2005). Due to technical achievements regarding steering systems and working width, row hoeing is becoming an interesting weed control technique also for conventional farmers. To decrease herbicide use and lower the risk for development of herbicide resistance, different combinations of chemical and mechanical weed control methods will be more commonly used in the future.

The interest for precision spraying in the crop rows using application widths of 5-10 cm has increased. TILLET (2005) developed a weed control system for band spraying and interrow-hoeing in cereals. In Spain, a field sprayer for inter- and intra-row weed control was evaluated (CARBALLIDO *et al.*, 2013). HARDY (2013) reported promising results from intra-row spraying in oilseed rape trials performed by Agrovista in UK, and Garford Farm Machinery has developed a hooded sprayer for inter-row spraying with band widths between 10 and 60 cm (ANONYMOUS, 2013).

However, most sprayer nozzles available on the market are adapted for an application width of 20 cm or more. To work properly, these nozzles are adapted to higher flow rates which can be used at an application width of 5-10 cm. In the 1990's, field experiments in sugar beets were performed to evaluate combinations of intra-row spraying and inter-row hoeing in Sweden (OLHLSON, 1996). The results indicated that the steering systems available for the row hoeing equipment were inadequate. This was also confirmed by HAGENVALL and NILSSON (1997). The technical achievements in precision agriculture, especially regarding inter-row hoeing, are now making it possible to combine intra-row spraying and inter-row hoeing.

In spring oilseed rape cultivation (*Brassica napus* L.), the number of available herbicides is limited. These herbicides are also rather expensive and may pose a threat to the environment. Since it is possible to cultivate oilseed crops at wider row distances without considerable yield losses, it would be interesting to evaluate whether a combination of inter-row hoeing and intra-row spraying could be an efficient weed control method. To evaluate the effects of intra-row spraying and inter-row hoeing on weed flora and crop yields in spring oilseed rape, a research project was initiated in Sweden in 2012.

We envisage that the inter-row hoeing and intra-row herbicide treatment will diminish the overall use of herbicides in comparison with the more conventional chemical weed control methods, while having the same weed control effect.

Material and Methods

Development of equipment for intra-row spraying

During 2012, new equipment for intra-row spraying was developed. A sprayer boom was constructed and sprayer nozzles (Injet 150025, Spraying system) were mounted on the boom. The nozzles had the following traits (at 7 bars): flow rate: 0.15 l minute⁻¹ (at 200 l ha⁻¹), spray pattern: 15°, and droplet size: 300 micron. The sprayer boom together with the sprayer tank and pump were installed on an inter-row hoe. The spraying width was 8 cm and the sprayer nozzles were placed about 30 cm above the crop rows. The sprayed area compared with the total area was 32%. The area between the intra-row sprayings was mechanically treated with a goosefoot hoeing machine.

In 2012, two field experiments were performed in spring oilseed rape (*B. napus*) at Kristianstad in the southern part of Sweden. The experimental design consisted of randomised block experiments with four blocks. The treatments included control, broadcast spraying, inter-row hoeing, and inter-row hoeing + intra-row spraying (Tab. 1 and 2). The oilseed crop was sown with a density of 105 seeds m⁻¹ in May at a row distance of 12.5 and 25 cm, respectively. Spraying was done when the weed plants had reached 1-2 leaf stage. The herbicide Butisan Top (Metazachlor 375 g l⁻¹ and Quinmerac 125 g l⁻¹) was applied with 2 l ha⁻¹. Inter-row hoeing was performed about a week after herbicide application. In June, about four weeks after the last weed control measures, 4 x 0.25 m² samples were assessed for weed number and weight per species in each experimental plot. The dry weight of weeds and crop were determined. In August, an area of 20 m² was harvested in each plot for determination of crop yields (kg ha⁻¹).

Tab. 1 Experimental design for the field experiment 1 at Kristianstad, Sweden.

Tab 1 Experimentelles Design für Feldversuch 1 in Kristianstad, Schweden.

Treatment	Row distance (cm)	Spraying (N = recommended dose)		Inter-row hoeing	Total herbicide dose ha ⁻¹ * (% of recommended dose)
A	12.5	Conventional (1/1N)	spraying	-	100%
B	25	-	-	-	-
C	25	-	-	1 time	-
D	25	Intra-row spraying (1/1N)		1 time	32%

* Total herbicide dose ha⁻¹ when using an application width of 8 cm.

Tab. 2 Experimental design for field experiment 2 at Kristianstad, Sweden.

Tab. 2 Experimentelles Design für Feldversuch 2 in Kristianstad, Schweden.

Treatment	Row distance (cm)	Spraying (N = recommended dose)		Inter-row hoeing	Total herbicide dose ha ⁻¹ * (% of recommended dose)
A	12.5	-	-	-	-
B	12.5	Conventional (1/1N)	spraying	-	100%
C	25	-	-	-	-
D	25	-	-	1 time	-
E	25	Intra-row spraying (1/1N)		1 time	32%

* Total herbicide dose ha⁻¹ when using an application width of 8 cm.

Statistical analysis

Prior to the statistical analyses, the variance of total weed weights and crop yields (residual vs. predicted) were plotted and data were transformed to natural logarithm, in order to stabilize the variance. For each field experiment, the effects of different weed control methods on (1) total weed weight, and (2) crop yield were evaluated in a mixed model containing the main factors block and treatment, and the interaction block \times treatment (SAS INSTITUTE INC., 2010). Least squares means of treatment were separated by the option PDIF, i.e. all possible probability values for the hypothesis $H_0: LSM(i) = LSM(j)$.

Results

In experiment 1, the dominant weed species were *Polygonum aviculare* L., *Chenopodium album* L., and *Sonchus* spp. The results showed that treatment D (inter-row hoeing + intra-row spraying), had significantly lower densities of weeds compared to the other treatments (Tab. 3). The crop yield in treatment B (no weed control) was also significantly lower compared to treatments A, C, and D.

In experiment 2, the weed flora was dominated by the weed species *C. album*. Similar control effects were observed as in field experiment 1. The weed dry weights were significantly lower in treatment B (conventional spraying), D (inter-row hoeing), and E (inter-row hoeing + intra-row spraying) compared with A and C (no control measures). There were, however, no significant differences in weed dry weights between B, D, and E (treatments where weed control had been performed). No differences in crop yield were observed (Tab. 4).

Tab. 3 Mean values of weed dry weight ($g\ m^{-2}$) and crop yields ($kg\ ha^{-1}$) for each treatment in field experiment 1. Values followed by the same letter are not significantly different.

Tab. 3 Mittelwerte der Unkraut-Trockengewichte ($g\ m^{-2}$) und Ernteerträge ($kg\ ha^{-1}$) für jede Behandlung in Feldversuch 1. Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich.

Treatment	Weed control methods	Weeds number (m^{-2})	Weeds dry weight ($g\ m^{-2}$)	Crop yield ($kg\ ha^{-1}$)
A	Conventional spraying	253,2	87 ^a	2140 ^a
B	(No weed control)	122,8	176 ^b	1804 ^b
C	Inter-row hoeing	73,6	80 ^a	2196 ^a
D	Inter-row hoeing + intra-row spraying	157,2	43 ^c	2482 ^a

Tab. 4 Mean values of weed dry weight ($g\ m^{-2}$) and crop yields ($kg\ ha^{-1}$) for each treatment in field experiment 2. Values followed by the same letter are not significantly different.

Tab. 4 Mittelwerte der Unkraut-Trockengewichte ($g\ m^{-2}$) und Ernteerträge ($kg\ ha^{-1}$) für jede Behandlung in Feldversuch 2. Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich.

Treatment	Weed control methods	Weeds number (m^{-2})	Weeds dry weight ($g\ m^{-2}$)	Crop yield ($kg\ ha^{-1}$)
A	(No weed control)	20,6	26 ^a	2917 ^a
B	Conventional spraying	17,8	12 ^b	3107 ^a
C	(No weed control)	12,3	25 ^{ab}	2964 ^a
D	Inter-row hoeing	6,8	11 ^b	2857 ^a
E	Inter-row hoeing + intra-row spraying	9,0	7 ^c	2857 ^a

Discussion

The results from two field experiments in 2012 indicated that a combination of inter-row hoeing and intra-row spraying may give weed control effects comparable to conventional spraying. The observed differences between sites with regard to crop yield response to treatments were probably due to differences in the amount of weeds at the two experimental sites. In field experiment 1, weed abundance was rather high. All performed weed control measures both increased crop yields and decreased weed abundance. In the second experiment, however, weed abundance was lower and no effects of weed control were observed on crop yields.

By using the combination of inter-row hoeing and intra-row spraying, the herbicide input was reduced by 68% compared to conventional spraying. These results are in agreement with a study presented by TILLET (2005), who developed generic precision row guidance technology for cereal production through targeting of both chemical and mechanical weed control inputs.

During 2013, field studies of inter-row hoeing and intra-row spraying have been performed in spring and winter oilseed rape, winter wheat (*Triticum aestivum* L.), and faba beans (*Vicia faba* L.). If the results from these field studies will be in agreement with the results presented here, the combination of mechanical and chemical weed control may be of great interest for a large part of the farmer community within the European Union.

References

- ANONYMOUS, 2013: Band and hooded sprayers. Garford Farm Machinery Lt., England. At: http://www.garford.com/products_band.html
- CARBALLIDO, J., A. RODRIGUES-LIZANA, J. M. AGÜERA and PEREZ-RUIZ, 2013: Field sprayer for inter- and intra-row weed control: performance and labor savings. Spanish Journal of Agricultural Research **11**(3), 642-651.
- EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL OF THE EU, 2009: Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21st October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides, Official Journal of the European Union **L 309**, 71–86.
- HAGENVALL, H. and E. NILSSON, 1997: Att använda kemiska bekämpningsmedel. Jönköping, Jordbruksverket. 79 pages. (In Swedish).
- Hardy, J. 2013. Bandspraying on the rise. 19/07/2013. At: <http://www.agrovista.co.uk/news/news.aspx?pname=Band-spraying-on-the-rise&newsid=573>
- KUDSK, P. P. BARBERI, L. BASTIAANS, I. BRANTS, C. BOHREN, S. CHRISTENSEN, F. ECONOMUO, B. GEROWITT, P. E. HATCHER, B. MELANDER, P. NEVE, E. PANNACCI, B. RUBIN, C. STREIBIG, K. TORRSEN and M. VURRO, 2013: Weed management in Europe at a crossroads – Challenges and opportunities. In: *Proceedings 16th Symposium, EWRS, European Weed Research Society*. KUDSK, P. BARBERI, P., BASTIAANS, L., BRANTS, I., BOHREN, C., CHRISTENSEN, S., ECONOMUO, F., GEROWITT, B., HATCHER, P. E., MELANDER, B., NEVE, P., PANNACCI, E., RUBIN, B., STREIBIG, C., TORRSEN, K. and M. VURRO, Samsun. European Weed Research Society, page 10.
- MELANDER, B., A. CIRUJEDA and M. H. JØRGENSEN, 2003: Effects of inter-row hoeing and fertiliser placement on weed growth and yield of winter wheat. *Weed Res.* **43** (6), 428-438.
- MELANDER, B., I. A. RASMUSSEN and P. BARBERI, 2005: Integrating physical and cultural methods of weed control – examples from European research. *Weed Science* **53** (3), 369-381.
- OHLSO, P.-O., 1996: Ogräsbekämpning I sockerbetor med kombinerad bandspruta och radrensare. Alnarp, Swedish University of Agricultural Sciences, 19 pages. (In Swedish).
- SAS INSTITUTE, 2010: SAS/STAT™ User's Guide, Release 9.3 Edison Cary. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- TILLET, N., 2005: Cost-effective weed control in cereals using vision guided inter-row hoeing and band spraying systems. Bedfordshire, Tillet and Hague Technology Limited, 25 pages.

Autorenindex – List of Authors

A	
Albrecht, Harald	180
Algerbo, Per-Anders	746
Altenfelder, Sara.....	180
Andersson, Allan	746
Atanackovic, Valentina	451
Augustin, Bernd	320
Azevedo, Roger	133
B	
Bajorienè, Kristina.....	244
Ballingall, Andrew Mark	268
Balz, Torsten	565
Becker, Jörg.....	293, 552
Beffa, Roland	66, 273, 334, 343
Belz, Regina G.	81, 106
Bergmann, Elke	621
Bese, Gabor.....	239
Böhm, Herwart.....	24, 431, 493
Bohren, Christian	133
Brader, Günter	511
Brandsæter, Lars Olav	234
Brathuhn, Arne	645
Breitsameter, Laura.....	123, 225
Brust, Jochen.....	422
Bulcke, Robert.....	578
Bulejčiková, Petra	208
Bürger, Jana	123, 379
Busi, Roberto	66
C	
Casaña-Giner, Victor	534
Česnienè, Tatjana	200
Christen, Olaf.....	456
Clærhout, Sofie.....	578
Claupein, Wilhelm	720
Compant, Stéphane.....	511
Cramer, Eberhard.....	304
D	
Dammer, Karl-Heinz	404
De Cauwer, Benny	578
de Mol, Friederike.....	149, 360, 412, 475, 653
Dicke, Dominik	304
Diehl, Tobias.....	594
Dingebauer, Gerd	557
Donath, Tobias W.....	190
Donati, Alexandra	599
Dürr, Simon.....	511
Dzikowski, Marcin	293, 552
E	
Eckstein, R. Lutz	190
Edler, Barbara	123, 379
Edmonds, John.....	587
Elsässer, Martin	611
Ewert, Katrin.....	621
F	
Feistkorn, Dominik	396
Fell, Martina	557, 599
Felsenstein, Friedrich.....	73
Festner, Thomas	635, 701, 714
Figge, Andrea	66
Flucke, Christoph	149
Freitag, Joachim	543
Fritzsche, Robert	360
Fykse, Haldor	234
G	
Gaines, Todd A.....	66
Geeroms, Tim	578
Gehring, Klaus	311, 387, 635, 701, 714
Gerhards, Roland	52, 60, 92, 350, 422, 701
Gerowitt, Bärbel	123, 149, 165, 360, 379, 412, 653
Ghanbari, Ali	214
Gherekhloo, Javid	214
Gilbertsson, Mikael.....	746
Gimeno, Miguel	534
Gronle, Annkathrin.....	431
Grosse, Meike	502
Gruber, Sabine	720
Günnigmann, Albert.....	261
H	
Haase, Thorsten.....	502
Hamouz, Pavel	208
Hamouzová, Kateřina	156
Han, Heping	66
Hansson, David.....	746

Heibertshausen, Dagmar	594
Heilmann, Hartmut	218
Heisrath, Jens	261
Hennens, David	534
Herrmann, Johannes	273
Heß, Jürgen	502
Hess, Martin	273
Hodi, Anna Maria	239
Hodi, Laszlo	239
Höfer, Michael U.	73
Holec, Josef	156, 208
Huang, Shoubing	720
Huiting, Hilfred	671
Hüsgen, Kerstin	701
Hyvönen, Terho	498

J

Jäck, Ortrud	350
Janků, Jaromír	156
Jodaugienė, Darija	244
Juister, Jan	261

K

Kaiser, Yasmin I.	52
Kalfa, Antje-Viola	557
Keller, Martina	114
Kerlen, Dirk	343, 570
Kirchner, Manfred	304
Kleizaitė, Violeta	200
Klingenhagen, Günter	606
Kollmann, Johannes	180
Konradt, Manfred	594
Köpke, Ulrich	483
Krause, Antje	17
Krauss, Jürgen	114
Kudsk, Per	37
Kunze, Thomas	653

L

Ladwig, Wencke	475
Landschreiber, Manja	324
Langemann, Dirk	334
Laufer, Christine	720
Leithold, Günter	441
Lorentz, Lothar	66
Lundkvist, Anneli	746

M

Maiwald, Frank	66
Marcinkevičienė, Aušra	244
Massucati, Luiz Felipe Perrone	483
Meiners, Ingo	526
Meinlschmidt, Ewa	621
Menegat, Alexander	60, 92, 98, 350
Menne, Hubert J.	320
Mohassel, Mohammad Hassan Rashed	214
Moss, Stephen	45
Mühlschlegel, Friedrich	587

N

Naugžemys, Donatas	200
Naunheim, Peter	570
Neuweiler, Reto	114
Ni, Hanwen	350
Nichols, Robert	45
Nilsson, Anders TS	746
Nordmeyer, Henning	343, 396, 709

O

Olf, Florian	297
Ommen, Tjard	261
Ott, Mark-Christoph	66
Otte, Annette	190

P

Palkovics, Laszlo	239
Pallutt, Bernhard	141
Patamsytė, Jolanta	200
Peters, Kristian	123
Petersen, Jan	73, 252, 297, 645, 692
Petruschke, Arne	456
Pflanz, Michael	396
Powles, Stephen B.	66
Prestele, Julia	180
Pupalienė, Rita	244

R

Raffel, Hans	526
Rančelis, Vytautas	200
Reheul, Dirk	578
Richter, Otto	273, 334, 343
Rosenhauer, Maria	73, 252
Rosinger, Christopher	516

Rotteveel, Ton	671
Rühl, Anna Theresa	190
Rummland, Janin	343

S

Salonen, Jukka	498
Samad, Abdul	511
Sarazin, Michel	534
Schönhammer, Alfons	543
Schröder, Gerhard	621, 728
Schubel, Thomas	273
Schulz, Franz	441
Schulz, Thomas	369
Schwarz, Jürgen	141, 738
Sefzat, David	412
Seither, Melanie	611
Sessitsch, Angela	511
Siebachmeyer, Max	720
Sievernich, Bernd	92, 98, 252
Sinkevičienė, Aušra	244
Söchting, Hans-Peter	172
Sohrabi, Sima	214
Sölter, Ulrike	507
Soukup, Josef	156, 208
Spoorenberg, Piet	671
Stähl, Per	746
Stauß, Reinhold	682
Steinmann, Horst-Henning	123, 225, 379
Stenberg, Maria	746
Strek, Harry	273
Stuke, Franz	557

T

Thomsen, Mette Goul	234
Thyssen, Stefan	311, 635, 701, 714
Tiede, Anke	293, 552
Torra, Joel	451
Total, René	114
Trognitz, Friederike	511
Tümmler, Christine	728
Tunaitienė, Virginija	200

U

Ulber, Lena	287
-------------------	-----

V

v. Redwitz, Christoph	165
van der Weide, Rommie	671
Vencill, William	45
Verschwele, Arnd	465, 507
Verwijst, Theo	746

W

Wagner, Jean	106, 261, 304
Wartenberg, Gerhard	404
Weber, Ernst Albrecht	720
Weber, Jonas	422
Webster, Theodore	45
Wegener, Martin	565
Weinhold, Frank	404
Werner, Bernhard	662
Westerloppe, Luc	587
Westerman, Paula R.	451, 475
Widhalm, Siegrid	511
Wiesinger, Klaus	180
Wirth, Judith	133
Wittmann, Christian	456
Wittrock, Arndt	293, 552
Wolber, Dirk Michael	280
Wöppel, Hans-Jürgen	714

Y

Yu, Qin	66
---------------	----

Z

Žďárková, Veronika	156
Zhang, Jinwei	350
Žvingila, Donatas	200
Zwenger, Peter	172

Veröffentlichungen des JKI

Das **Julius-Kühn-Archiv** setzt die seit 1906 erschienenen Mitteilungshefte, eine Reihe von Monographien unterschiedlichster Themen von Forschungsarbeiten bis zu gesetzlichen Aufgaben fort. Alle bisher erschienenen Ausgaben sind OPEN ACCESS kostenfrei im Internet zu lesen.

Öffentlichkeit und Fachwelt versorgen wir zusätzlich mit verschiedenen Informationsangeboten über alle Aspekte rund um die Kulturpflanzen. Hierfür stehen verschiedene Broschüren, Faltblätter, Fachzeitschriften und Monographien aber auch verschiedene Datenbanken als Informationsressourcen zur Verfügung.

Für die Allgemeinheit sind vor allem die Faltblätter gedacht, die über Nützlinge im Garten, aber auch über spezielles wie den Asiatischen Laubholzbockkäfer informieren. Außerdem ist der regelmäßig erscheinende Jahresbericht allgemein interessant, vor allem mit den umfassenden Artikeln zu besonderen Themen, die Sie aber auch im Internet auf den thematisch dazugehörigen Seiten finden.

Seit 2009 wird vom Julius Kühn-Institut als wissenschaftliches Fachorgan das **Journal für Kulturpflanzen – Journal of Cultivated Plants** (vormals Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes) monatlich herausgegeben (<http://www.journal-kulturpflanzen.de>).

Weiterführende Informationen über uns finden Sie auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts unter <http://www.jki.bund.de> im Bereich Veröffentlichungen.

Spezielle Anfragen wird Ihnen unsere Pressestelle (pressestelle@jki.bund.de) gern beantworten.

Anschrift für **Tauschsendungen**:

Please address **exchanges** to:

Adressez **échanges**, s'il vous plait:

Para el **canje** dirigirse por favor a:

Informationszentrum und Bibliothek
Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Königin-Luise-Straße 19
D-14195 Berlin, Germany
E-Mail: ib@jki.bund.de

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung

Die Deutschen Arbeitsbesprechungen über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung bieten traditionell eine sehr breite Plattform zu allen Fragen der Herbologie und geben den aktuellen Erkenntnisstand im Bereich der Herbologie wieder. Im Mittelpunkt der Fachtagung stehen Inhalte zu Forschung und Entwicklung zu Themen im Bereich der Herbizidresistenz bei Unkräutern, Klimawandel, Populationsdynamik und Biodiversität, Modellierung, Unkrautmanagement ohne Herbizide, Entwicklungen bei Herbiziden und Herbizidmanagement. Ziel der Fachtagung ist es, herbologische Fragestellungen mit Experten von Hochschulen, Industrie, Pflanzenschutzberatung und öffentlicher Verwaltung zu diskutieren.

Die Tagung wird veranstaltet vom Julius Kühn-Institut (JKI), dem Institut für Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig und dem Arbeitskreis Herbologie der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft (DPG).

26th German Conference on Weed Biology and Weed Control

Traditionally, the German conference on weed biology and weed control offers a broad platform for discussion of all questions related to weed science and reflects the current state of the art. The symposium is focused on topics such as evolution of herbicide resistance in weeds, climate change, population dynamics and biodiversity, modelling, weed management without herbicides, developments in herbicides and herbicide management. The aim of the symposium is to facilitate a discussion among experts coming from universities, industry, plant protection advisory services and administration.

The conference is organized by the Julius Kühn-Institute (JKI), the Institute for Geocology of the Technical University Braunschweig and the Weed Science Working Group of the German Phytomedical Society (DPG).

Die 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung wird freundlicherweise unterstützt durch:



Bayer CropScience



MONSANTO



The miracles of science™

