



Journal für Kulturpflanzen

Journal of Cultivated Plants

Themenheft

Dauerfeldversuche: Grundlage für die Landwirtschaft der Zukunft – 25 Jahre Dahnsdorf

7

Band 72
Juli 2020
Print: ISSN 1867-0911
Internet: ISSN 1867-0938



ulmer



JKI

Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Journal für Kulturpflanzen

Journal of Cultivated Plants



Journal für Kulturpflanzen vereint mit Pflanzenbauwissenschaften

Print: ISSN 1867-0911, Internet: ISSN 1867-0938

Homepage: <https://ojs.openagrar.de/index.php/Kulturpflanzenjournal>

Charakteristik

Das Journal für Kulturpflanzen enthält wissenschaftliche Originalbeiträge, Übersichtsarbeiten und Berichte zu allen Themengebieten der Kulturpflanze, z. B. Pflanzenbau, Pflanzenschutz und Phytomedizin, Pflanzengesundheit, Pflanzengenetik, Pflanzenernährung, Bodenkunde, Bienenschutz, Pflanzenschutztechnik, Vorratsschutz. Außerdem werden Mitteilungen und Nachrichten, Personalien, Literaturhinweise und Buchbesprechungen veröffentlicht.

Verantwortlicher Herausgeber / Editor-in-Chief

Prof. Dr. Frank Ordon, Präsident und Professor des Julius Kühn-Instituts – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg

Schriftleitung / Managing Editor

Dr. Anja Hühnlein, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg, Tel.: 03946/47-2206, E-Mail: journal-kulturpflanzen@julius-kuehn.de

Co-Schriftleitung

Dr. Ulrike Stahl (JKI Quedlinburg)

Co-Schriftleitung Pflanzenbauwissenschaften

Prof. Dr. Hans-Peter Kaul (Universität für Bodenkultur Wien)

Redaktionsbeirat / Editorial Board

Prof. Dr. Henryk Flachowsky (JKI Dresden)

Prof. Dr. Simone Graeff-Hönninger (Universität Hohenheim)

Prof. Dr. Jörg Michael Greef (JKI Braunschweig)

Prof. Dr. Johannes Hallmann (JKI Braunschweig)

Dr. Olaf Hering (JKI Berlin)

Prof. Dr. Johannes Jehle (JKI Darmstadt)

Prof. Dr. Wilhelm Jelkmann (JKI Dossenheim)

Dr. Hella Kehlenbeck (JKI Kleinmachnow)

Dr. Heinz-Josef Koch (Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen)

Dr. Andrea Krähmer (JKI Berlin)

Prof. Dr. Carola Pekrun (Hochschule für Wirtschaft und

Umwelt Nürtingen-Geislingen)

Dr. Jens Pistorius (JKI Braunschweig)

Dr. Bernhard Carl Schäfer (JKI Braunschweig)

Prof. Dr. Dr. h.c. Ewald Schnug (JKI Braunschweig)

Dr. Günter Schumann (JKI Quedlinburg)

Prof. Dr. Hartmut Stützel (Leibniz Universität Hannover)

Prof. Dr. Friedhelm Taube (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)

Prof. Dr. Reinhard Töpfer (JKI Siebeldingen)

Dr. Ute Katharina Vogler (JKI Braunschweig)

Prof. Dr. Jens Karl Wegener (JKI Braunschweig)

Dr. Peter Wehling (JKI Groß Lüsewitz)

Dr. Ralf Wilhelm (JKI Quedlinburg)

Prof. Dr. Peter Zwirger (JKI Braunschweig)

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Wolfgang Friedt (Justus-Liebig-Universität Gießen)

Dr. Erich Jörg (Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz)

Elmar Pfülb (Bundessortenamt Hannover)

Prof. Dr. Bernward Märlander (Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen)

Mag. Astrid Plenk (AGES - Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH)

Prof. Dr. Joseph-Alexander Verreet (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)

Manuskripteinreichung

Bitte reichen Sie Original- und Übersichtsarbeiten sowie Kurzmittelungen und Nachrichten über das elektronische Zeitschriftenverwaltungssystem ein:

<https://ojs.openagrar.de/index.php/Kulturpflanzenjournal>.

Um die Einreichung zu beginnen, registrieren Sie sich als Nutzer der Zeitschrift über einen Klick auf „Registrieren“ im oberen rechten Bildschirmrand. Nach erfolgreicher Manuskripteinreichung erhalten Sie eine Bestätigung per E-Mail. Indem Sie sich mit Ihrem Benutzernamen und Passwort im System anmelden, können Sie jederzeit den Status Ihrer Einreichung einsehen.

Bei Fragen zur Manuskripteinreichung kontaktieren Sie gern die

Schriftleiterin Dr. Anja Hühnlein (Tel.: 03946 47-2206,

E-Mail: journal-kulturpflanzen@julius-kuehn.de).

Hinweis für Autoren der zweimal jährlich erscheinenden Ausgabe

„Pflanzenbauwissenschaften“: Bitte machen Sie zu Beginn der Einreichung im Feld „Kommentare für die Redaktion“ deutlich, dass es sich um einen Beitrag für die Pflanzenbauwissenschaften handelt.

Verlag

Eugen Ulmer KG, Wollgrasweg 41, 70599 Stuttgart (Hohenheim).

Telefon (0711) 45 07-0, Fax (0711) 45 07-1 20.

E-Mail: info@ulmer.de, UST-ID: DE147639185.

Vertrieb: Daniela Knorre.

Leserservice: Nadine Wieland.

Tel. (0711) 4507-105, Fax - 120, E-Mail: leserservice@ulmer.de

Anzeigen: Marc Alber, verantwortlich.

Preisliste Nr. 15 gültig seit 1. 1. 2009. Anzeigenschluss am 20. des Vormonats.

Bankverbindungen

Deutsche Bank AG Stuttgart IBAN:

DE62 6007 0070 0147 6878 00 (BIC: DEUTDE33XXX)

Bank Austria Bregenz IBAN: AT18 1200 0518 8801 4200 (BIC: BKAUATWW)

PostFinance Zürich IBAN: CH86 0900 0000 8004 7072 8 (BIC: POFICHBEXXX)

Abonnements

Das Journal für Kulturpflanzen erscheint monatlich. Jahresbezugspreis Inland

als Postvertriebsstück € 249,60 inkl. MwSt. Ausland Gesamtpreis € 258,70.

Einzelheftpreis € 22,00 zzgl. Versandkosten. Die Einzel- sowie Gesamtpreise sind

preisgebunden. Berechnung: sofern nicht anders vereinbart, jeweils innerhalb des

Kalenderjahres. Kündigungsfrist: 6 Wochen zum Ende des Rechnungszeitraums.

Bestellungen nehmen jede Buchhandlung und der Verlag entgegen.

Druck

Ungeheuer + Ulmer KG GmbH + Co, Körnerstraße 14–18, 71634 Ludwigsburg.

Satz und Herstellung

mediaTEXT Jena GmbH, www.mediatext.de

Copyright



Seit Januar 2019 werden alle wissenschaftlichen Beiträge im Journal für Kulturpflanzen als Open-Access-Artikel unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

Beitragseinreichung:

<https://ojs.openagrar.de/index.php/Kulturpflanzenjournal>



Dauerfeldversuche: Grundlage für die Landwirtschaft der Zukunft – 25 Jahre JKI-Versuchsstation Dahnsdorf

Dauer- und Langzeitversuche bieten die besondere Möglichkeit der Untersuchung von Langzeiteffekten im Pflanzenbau, die in den oftmals nur dreijährig bzw. auf eine Fruchtfolgerotation angelegten Versuchen nicht zu beobachten sind. Daher sind Dauerversuche zur Feststellung langfristiger Effekte fachlich geboten und von sehr hohem Wert. Durch die kontinuierliche Datenerhebung werden Dauerfeldversuche mit zunehmender Dauer zudem immer wertvoller. Solche Versuche sind ein Alleinstellungsmerkmal, zumal nur wenige Institutionen und Standorte über Versuchsstationen und Versuchsflächen mit der notwendigen Kontinuität und Ausstattung als Grundvoraussetzung solcher dauerhafteren Versuche verfügen und entsprechende Daten auswerten können.

Nach 25 Jahren Versuchsbetrieb auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf blicken wir daher auch mit Stolz auf das Erreichte und Vergangene zurück, schauen aber gleichermaßen mutig in die Zukunft. Heutzutage erreichen nicht mehr viele Dinge die „Silberhochzeit“, sondern gehen auseinander bzw. werden vorher eingestellt.

Im Zentrum unserer Langzeit- und Dauerfeldversuche stehen integrierte und umweltverträgliche Pflanzenbau- und Pflanzenschutzstrategien. Die Versuchsfragen stellen aktuelle Fragen aus der Politikberatung in den Fokus und berücksichtigen auch gesellschaftlich relevante Themen der Zukunft. So steht unsere Forschung auch unter dem Dach der verschiedenen Strategien des BMEL, wie – allen voran und besonders aktuell – der Ackerbaustrategie, dem Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP), der Zukunftsstrategie ökologischer Landbau sowie auch der Eiweißpflanzenstrategie, oder der Bioökonomiestrategie.

Daraus ergeben sich vielfältige Forschungsfragen für die Landwirtschaft, die in interdisziplinärer Zusammenarbeit aus den verschiedensten Blickwinkeln untersucht

werden. Die hier zusammengestellten Beiträge geben einen Einblick in die Breite nicht nur der Themen, sondern auch der methodischen Ansätze der verschiedenen Arbeitsgruppen, die gemeinsam arbeiten. Dazu gehören agronomische und phytopathologische ebenso wie ökonomische oder Umweltaspekte, um eine möglichst ganzheitliche Betrachtung zu erreichen.

Möglichkeiten und Grenzen von reduzierten Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln oder die Bestimmung des notwendigen Maßes im Pflanzenschutz werden heute intensiv diskutiert. Aber nur wenige Einrichtungen verfügen über langjährige Datenreihen dazu. Die vor 25 Jahren als Dauerversuche in Dahnsdorf angelegten Untersuchungen zeigen das gute Gespür des Julius Kühn-Instituts (JKI) einschließlich seiner Vorgängereinrichtung, der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), an der heute so aktuellen Fragestellung. Diese Untersuchungen zu nicht-chemischen, alternativen Pflanzenschutzmaßnahmen sind seit Anbeginn in Dahnsdorf ein wichtiger Teil der Forschung des JKI. Ihre Ergebnisse sind jetzt von unschätzbarem Wert. Auch der ökologische Landbau wurde von Anfang an in der Versuchstätigkeit, auch mit zertifizierten Flächen, etabliert. Seit Kurzem sind Versuche im Rahmen eines Projektes (NOcsPS) angelegt worden, die ohne chemisch-synthetischen Pflanzenschutz, aber weiterhin mit mineralischer Düngung durchgeführt werden. Damit wird noch einen Schritt weitergegangen und gesellschaftlichen Forderungen Rechnung getragen, die einen Totalverzicht auf chemischen Pflanzenschutz fordern.

Neben wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Ergebnisse ist der regelmäßige fachliche Austausch auf dem Versuchsfeld vor Ort für uns wichtig. So findet jährlich ein Versuchsfeldtag statt. Hier können sich Interessierte aus der Fachwelt und dem Berufsstand informieren. Auch begrüßen wir regelmäßig Studierende, Schüler oder aber Besuchergruppen in Dahnsdorf.

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Hella Kehlenbeck, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: hella.kehlenbeck@julius-kuehn.de

Ein so anspruchsvolles und umfassendes Versuchsprogramm ist nicht ohne die Arbeit der technischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Versuchsfeldes und des Institutes machbar. Ohne ihre Leistungen wären die nachfolgend dargestellten Ergebnisse nicht zustande gekommen. Daher sei ihnen allen an dieser Stelle für die geleistete Arbeit ganz besonders gedankt.

Die Zukunft wird uns sicher weiter vor viele Herausforderungen und Fragen zum Pflanzenbau stellen. Allein das Wetter und das Klima fordern uns jedes Jahr neu. Die Jahre 2018 und 2019 waren aufgrund der Dürre und deren Nachwirkungen keine einfachen Jahre für die Landwirtschaft und auch das Versuchsfeld war vom fehlenden Niederschlag stark betroffen. Es bleibt abzuwar-

ten, inwieweit der Klimawandel uns in Zukunft vermehrt vor solche Herausforderungen stellt und welche Anpassungsstrategien wir ausprobieren und umsetzen können.

In jedem Fall aber bleibt es sehr spannend, in welche Richtung sich die Landwirtschaft entwickeln wird. Wir sind immer wieder neugierig auf die Ergebnisse und verstärken unsere Bemühungen weiter, um mit unserer Forschung in Dahnsdorf dazu beizutragen, die Möglichkeiten, aber auch Grenzen von Pflanzenschutz und Pflanzenbau aufzuzeigen und die Grundlagen für resiliente Anbausysteme weiterzuentwickeln, die hinsichtlich aller drei Säulen der Nachhaltigkeit gut und langfristig für die Zukunft aufgestellt sind.

Jürgen Schwarz, Bernhard Pallutt

Historie – Ein Blick zurück oder wie alles begann

History
– A look back
or how it all began

Zusammenfassung

Vor 25 Jahren wurden in Dahnsdorf die ersten Dauerfeldversuche angelegt. Das Versuchsfeld befindet sich im südlichen Brandenburg, nahe der Stadt Bad Belzig, im Naturraum „Hoher Fläming“. Bei der Einrichtung des Versuchsfelds wurde auf einen weizenfähigen Boden und eine hohe Repräsentanz für die ackerbaulichen Standorte in Ostdeutschland geachtet. Im Herbst 1995 erfolgte die Anlage von Komplexversuchen zum Pflanzenschutz als Dauerfeldversuche. Damals wurden die drei Bewirtschaftungssysteme Marktfruchtbau, Futterbau und Ökologischer Landbau etabliert. Im Laufe der Versuchsdauer wurde die Ausrichtung der Versuche angepasst. Durch die Zunahme der pfluglosen Bodenbearbeitung, auf rund 40% der Ackerfläche Deutschlands, wurde die Versuchsfrage der Pflanzenschutzintensität in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung aufgegriffen. Selbstverständlich wurden gesetzliche Änderungen, wie z.B. die Einführung der Verbindlichkeit des integrierten Pflanzenschutzes (ab dem 01.01.2014), berücksichtigt. In den Dauerfeldversuchen werden auch weiterhin zukünftige Entwicklungen im Pflanzenschutz berücksichtigt (beispielsweise der Verzicht auf die CFS-Substitutionskandidaten), um den Auftrag der Politikberatung adäquat zu bedienen zu können.

Stichwörter: Dauerfeldversuch, Pflanzenschutz, Fruchtfolge, Pestizid

Abstract

25 years ago, the first long-term field tests were carried out in Dahnsdorf. The field is located in southern Brandenburg, near the city of Bad Belzig, in the natural area “Hoher Fläming”. When setting up the trial field, care was taken to ensure a wheat-compatible soil and a high level of representation for the agricultural locations in eastern Germany. In autumn 1995, complex plant protection trials were set up as long-term field trials. At that time, the three farming systems of cash crop production, fodder production and organic farming were established. During the course of the trials, the main research topics were adjusted. Due to the increase of non-inversion tillage to about 40% of the arable land in Germany, the issue how the intensity of plant protection depends on tillage was taken into closer examination. Of course, legal changes such as the liability of integrated plant protection (since 01.01.2014) were taken into account. In the permanent field trials future developments in crop protection will be taken into consideration (abandonment of candidates for substitution) in order to adequately serve the task of policy advice.

Key words: long-term field trial, plant protection, pesticide, crop rotation

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Zentrale Versuchsfelder, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Jürgen Schwarz, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Zentrale Versuchsfelder, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: juergen.schwarz@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

25. Mai 2020

Nach 25 Jahren Versuchstätigkeit am selben Standort und der speziellen Ausrichtung auf Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz sollte in unseren hektischen Zeiten innegehalten und kurz skizziert werden, wie alles begann.

Durch Umstrukturierungen der ehemaligen Biologischen Zentral Anstalt (BZA) Kleinmachnow im Jahr 1991 wurde das dazugehörige ca. 68 ha große Versuchsfeld in Güterfelde nun unter die Verwaltung der Landesforschung Brandenburg gestellt.

Damit wurde mit Gründung des Institutes für integrierten Pflanzenschutz (IP) in Kleinmachnow, welches Bestandteil der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) war, die Etablierung eines neuen, eigenen Versuchsfeldes erforderlich.

Für die Einrichtung dieses Versuchsfeldes musste eine Ackerfläche gefunden und erworben werden. Daher wurde im Jahre 1992 eine Annonce zum Kauf einer ca. 30 ha großen Ackerfläche in der „Märkischen Allgemeinen“ inseriert.

Aus den angebotenen Flächen wurde die am besten geeignete Fläche für die Versuchsdurchführung ausgewählt.

Folgende Eignungskriterien wurden angelegt:

- Weizenfähiger Boden, da Weizen von allen in Deutschland angebauten Kulturarten den größten Anbauumfang einnimmt.
- Hohe Repräsentanz für Ostdeutschland, der Standort repräsentiert etwa 30% der Fläche Ostdeutschlands (D3-, D4-, D5-Standorte).
- Angemessene Entfernung bzw. Fahrzeit von Kleinmachnow.

Nach den erfolgreichen Verhandlungen und dem Kauf der Fläche in der Nähe von Dahnsdorf, inkl. notwendi-

gem Flächentausch, wurde die Versuchsfläche im Vegetationsjahr 1994/95 einheitlich mit Winterweizen bestellt.

Um die Bodenheterogenität bei der Planung der Versuche zu berücksichtigen, erfolgte im Juni 1995 eine fotografische Aufnahme zum Wuchs des Weizenbestandes mittels Hubschrauberüberflug mit anschließender grober Kartierung der Bodenunterschiede (vgl. Abb. 1). Zum Ausgleich der bewirtschaftungsbedingten Differenzen hinsichtlich der P- und K-Versorgung erfolgte im Spätsommer 1995 eine einheitliche P- und K-Düngung. Da die zusammengelegten Flächen auch große Unterschiede bei der Verunkrautung vor allem mit Quecke aufwiesen, wurden, zur Schaffung einheitlicher Versuchsbedingungen, nach der Weizenernte 5,0 l/ha Roundup appliziert, die eine sehr gute Queckenregulierung zur Folge hatten, so dass diesbezüglich relativ einheitliche Versuchsbedingungen vorlagen.

Auf Grundlage der groben Kenntnisse zur Bodenheterogenität erfolgte im Herbst 1995 die Anlage von Komplexversuchen zum Pflanzenschutz als Dauerfeldversuch. Die drei Bewirtschaftungssysteme Marktfruchtbau, Futterbau und Ökologischer Landbau wurden etabliert.

Zur Gewährleistung einer versuchstechnisch ordnungsgemäßen Bewirtschaftung bzw. Durchführung der Versuche wurde jedes Bewirtschaftungssystem mit 6 Fruchtfolgefeldern in vierfacher Wiederholung bei gleicher Blockgröße angelegt. Dabei war jedes Fruchtfolgefeld in jedem Jahr vorhanden und somit wurden etwaige Vorfrucht- und Fruchtfolgeeffekte nicht durch Jahreseffekte überlagert. In den folgenden Jahren wurden zwei weitere Dauerfeldversuche angelegt:

- Folgeabschätzung der Wirkung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz (1998)
- Wirkungen von verschiedenen Pflanzenschutzstrategien (2002)



Abb. 1. Versuchsfeld Dahnsdorf vor Beginn des Versuchsbetriebs

Um die vorliegende Bodenheterogenität detaillierter zu erfassen, wurden vom Institut für Ökotoxikologie der BBA in Berlin-Dahlem nach der Versuchsanlage im Vegetationsjahr 1996/97 von jedem Fruchtfolgefeld 2 Bodenproben (30 cm Tiefe) entnommen und in Bezug auf Ton-, Schluff- und Sandgehalt sowie pH-Wert und Nährstoffversorgung analysiert.

Durch das ATB Potsdam-Bornim erfolgte im April 2001 und 2002 eine parzellenbezogene Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens. Diese erlaubt eine Aussage über die Wasserkapazität bis zu einer Tiefe von 1,5 m und daraus resultierend war es möglich, die bodenbedingte Ertragsfähigkeit der jeweiligen Parzelle zu schätzen. Die so ermittelten Werte wurden für Ko-Varianzanalysen genutzt.

Zusätzlich zur Etablierung der Versuchsflächen konnten seit Beginn des Versuchsbetriebs erfreulicherweise auch bauliche Verbesserungen erreicht werden. Im Jahr 2000 wurde ein neues modernes Stationsgebäude mit Labor-, Arbeits-, Aufenthalts- und Sanitärräumen für das Versuchsfeldpersonal und die Versuchsansteller errichtet. Im Jahr 2002 wurde die vorhandene Gerätehalle modernisiert und eine weitere Maschinenhalle mit Werkstattbereich fertiggestellt. Zur Verbesserung der Versuchstätigkeit konnte im Jahr 2004 eine Brunnenanlage (Tiefbrunnen) auf dem Versuchsfeld installiert werden. Im Jahr 2019 wurde die auf dem Versuchsfeld gelegene Feldscheune umfassend saniert.

Aber nicht nur die örtlichen Gegebenheiten des Versuchsfelds waren von Veränderungen betroffen, auch die Ausrichtung der Versuche wurde und wird angepasst. Durch die Zunahme der pfluglosen Bodenbearbeitung in Deutschland auf rund 40%, wurde die Versuchsfrage der Pflanzenschutzintensität in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung aufgegriffen.

Sofern sich gesetzliche Änderungen ergeben, wie z.B. die Einführung der Verbindlichkeit des integrierten Pflanzenschutzes zum 01.01.2014, werden diese auch in den Versuchen berücksichtigt.

Die Dauerfeldversuche bilden jedoch nicht nur bestehende Konstellationen ab, sondern versuchen auch zukünftige Entwicklungen zu antizipieren, um den Auftrag des Julius Kühn-Instituts, die Politik zu beraten, adäquat zu bedienen. Als ein Beispiel sei hier die langfristige Auswirkung des Verzichts auf die Substitutionskandidaten (CfS – Candidates for Substitution) im Pflanzenschutz genannt. Aufgrund der eingeschränkten Wirkstoffverfügbarkeit können neben kurzfristigen Effekten, z.B. Ertragsminderungen, auch langfristige Effekte, wie z.B. die Ausbildung von Resistenzen, auftreten.


Für die Beurteilung der Nachhaltigkeit verschiedener Pflanzenschutzstrategien hinsichtlich Populationsdynamik und Resistenzbildung der Schaderreger sowie Ressourceneffizienz sind Dauerfeldversuche erforderlich. Diese Langzeiteffekte, welche frühestens nach 5, aber häufig erst nach 10 oder 20 Jahren auftreten, können auch erst dann sicher quantifiziert und bewertet werden.

Die Herausforderungen an die Landwirtschaft werden auch in Zukunft nicht geringer, als ein Stichwort sie hier der Klimawandel genannt, so dass Dauerfeldversuche auch und gerade zum Pflanzenschutz weiterhin dringend nötig sind.


Interessenskonflikte

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Holger Beer¹, Lorenz Kottmann²

Ackerbaustrategie 2035 des BMEL

2035 Arable
Farming Strategy
of the BMEL

Zusammenfassung

Ende 2019 wurde das Diskussionspapier zur Ackerbaustrategie 2035 des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) vorgestellt. Das Julius Kühn-Institut (JKI) war intensiv in die Vorarbeiten eingebunden und hat das BMEL bei der Erarbeitung des Diskussionspapiers zur Ackerbaustrategie aktiv unterstützt. Die Ackerbaustrategie beschreibt sechs Leitlinien, welche die Rahmenbedingungen für einen nachhaltigen Ackerbau darstellen. In insgesamt 12 Handlungsfeldern werden Herausforderungen und Zielkonflikte aufgezeigt, und entsprechende Ziele und Maßnahmen benannt. Im Folgenden werden einige Inhalte der Ackerbaustrategie vorgestellt. Zudem wird aufgezeigt, wie die Ressortforschung – und das JKI im Speziellen – die Umsetzung der Ackerbaustrategie bereits heute wie auch in Zukunft aktiv unterstützt.

Stichwörter: Ackerbaustrategie, nachhaltiger Pflanzenbau, Boden, Pflanzenschutz, Pflanzenzüchtung, Biodiversität, Digitalisierung, Düngung, Klimaanpassung, Fruchtfolge

Abstract

At the end of 2019, the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) presented a discussion paper on the Ara-

ble Farming Strategy. The Julius Kühn-Institut (JKI) was intensively involved in the preparatory work and supported the BMEL in developing the arable farming strategy. It describes six guidelines that define the framework for sustainable arable farming. In a total of 12 fields of action, challenges and conflicting objectives are named and corresponding objectives and measures are identified. Some of the contents of the arable farming strategy are presented below. It is also shown how departmental research – and the JKI in particular – is already actively supporting the implementation of the arable farming strategy today as well as in the future.

Key words: Arable Farming Strategy, Sustainable Agriculture, Soil, Crop Protection, Plant Breeding, Digitalisation, Biodiversity, Nutrition, Climate Change, Crop Rotation

Frau Bundesministerin Julia Klöckner hat am 19. Dezember 2019 das Diskussionspapier zur Ackerbaustrategie 2035 des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) vorgestellt. Mit diesem Diskussionspapier kam Frau Klöckner der Forderung im Koalitionsvertrag zwischen CDU/CSU und SPD der 19. Legislaturperiode nach, in dem die Erarbeitung der Ackerbaustrategie vereinbart wurde.

Das Julius Kühn-Institut (JKI) wurde Anfang 2018 gebeten, das BMEL fachlich bei der Erarbeitung der

Affiliationen

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Leitung, Kleinmachnow¹

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig²

Kontaktanschrift

Dr. Holger Beer, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Leitung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: holger.beer@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

25. Mai 2020

Ackerbaustrategie zu unterstützen. Die Aktivitäten des JKI in den beiden vergangenen Jahren umfassten die Federführung des Arbeitsteams, die Einbindung von weiteren Experten und die Vernetzung mit potenziellen Akteuren sowie die Erarbeitung von Konzepten und Handlungsoptionen. Vom Arbeitsteam wurden wichtige fachliche Grundlagen für die Ackerbaustrategie erstellt. Dieses 27-köpfige Arbeitsteam bestand aus Vertreterinnen und Vertretern des JKI, des Thünen-Instituts (TI), der Landwirtschaftskammern Nordrhein-Westfalens und Schleswig-Holsteins, der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalts, des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, des Bundessortenamts und des Informations- und Koordinationszentrums für biologische Vielfalt der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Die Vorschläge des Arbeitsteams wurden mit einem Expertengremium diskutiert und ergänzt. In diesem Expertengremium arbeiteten Vertreter von Universitäten, Bundesforschungsanstalten und weiteren Institutionen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, Deutsches Geoforschungszentrum, Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern, Deutsche Bundesstiftung Umwelt) mit. Im Ergebnis wurde vom Arbeitsteam ein Abschlussbericht mit Empfehlungen für die Erarbeitung der Ackerbaustrategie erstellt und dem BMEL vorgelegt. Auf der Grundlage dieses Arbeitspapiers wurde das im Dezember 2019 vorgestellte Diskussionspapier zur Ackerbaustrategie im BMEL erarbeitet und abgestimmt.

Die Ackerbaustrategie gliedert sich in Leitlinien und Handlungsfelder. Insgesamt werden sechs Leitlinien benannt, die Rahmenbedingungen für einen nachhaltigen Ackerbau darstellen: Versorgung, Einkommenssicherung, Umwelt- und Ressourcenschutz, Biodiversität, Klimaschutz und Klimaanpassung sowie gesellschaftliche Akzeptanz. In den insgesamt 12 produktionsbezogenen und übergreifenden Handlungsfeldern werden Ausgangslage, Problemstellung und Zielkonflikte aufgezeigt, sowie Ziele und die erforderlichen Maßnahmen beschrieben. Die Kompetenzbereiche des JKI werden durch die fachlichen und produktionsbezogenen Handlungsbereiche nicht nur berührt, sondern direkt oder auch indirekt bedient; das soll im Folgenden beispielhaft gezeigt werden.

Die Ackerbaustrategie ist zukunftsorientiert formuliert und im Vorwort wird der Versuch unternommen, einen Ausblick auf den Ackerbau im Jahre 2035 zu nehmen. Gleich zu Beginn wird das Thema biologische Vielfalt aufgegriffen: „2035 summt und brummt es über deutschen Äckern und Feldern wieder lauter.“ Dieser Ausblick ist realistisch, denn hier ist bereits in den letzten beiden Jahren viel passiert. Dem Thema biologische Vielfalt ist in der Ackerbaustrategie viel Raum gewidmet und Ziele sowie konkrete Maßnahmen werden benannt, mit deren Hilfe diese Ziele erreicht werden sollen. Mit der Umsetzung eines Teils dieser Maßnahmen wurde bereits begonnen. Mit der an erster Stelle genannten Maßnahme, dem Aufbau eines systematischen und bundes-

weiten Monitorings zur biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft wurde bereits im Jahre 2018, d.h. zeitgleich mit der Erarbeitung der Ackerbaustrategie, angefangen. Das vom TI, dem JKI und der BLE gemeinsam entwickelte Konzept für ein Langzeitmonitoring besteht aus drei Teilen: In einem generellen Trendmonitoring sollen Aussagen zum gesamten Bundesgebiet erarbeitet werden. Ergänzt wird es durch ein vertiefendes Monitoring zu bestimmten Fragestellungen. Im dritten Arbeitspaket, dem Citizen-Science, sollen Landwirte, Verbände und interessierte Bürger eingebunden werden. An dem Vorhaben sind über 13 verschiedene Fachinstitute des TI, des JKI und der BLE beteiligt.

Als Beispiel für eines der Handlungsfelder sei hier der Boden genannt. Vorrangiges Ziel ist hier die weitere Stärkung des Bodenschutzes und der Bodenfruchtbarkeit, das schließt die funktionelle und strukturelle Bodenbiodiversität ein. Schädliche Einflüsse auf den Boden durch Erosion, Bodenschadverdichtung und den unerwünschten Eintrag von Schadstoffen sollen verringert werden. Gleichzeitig wird auf die sich hieraus ergebenden Zielkonflikte verwiesen. „Eine reduzierte Bodenbearbeitung geht einher mit einer Vielzahl von positiven Wirkungen wie z.B. einer Erhöhung des Humusgehaltes, einem verstärkten Erosionsschutz in besonders gefährdeten Lagen oder einer schnelleren Aufnahme von Wasser einher.“ Diese positiven Wirkungen der reduzierten Bodenbearbeitung sind durch den Einsatz von Breitbandherbiziden möglich. Alternativen gibt es derzeit kaum. Die wenigen sind nicht praktikabel bzw. nicht wirtschaftlich. Darauf wird in der Wirtschaftlichkeitsbewertung hingewiesen. Dieser Hinweis ist im Übrigen grundsätzlich auf alle Handlungsfelder übertragbar, denn viele der vorgeschlagenen Maßnahmen, wie z.B. ein besserer Bodenschutz und Humusaufbau, können mit zusätzlichen Aufwendungen für die landwirtschaftlichen Betriebe verbunden sein und wirken sich nur mittel- bis langfristig aus.

Das Handlungsfeld Pflanzenschutz ist vor dem Hintergrund dieses Sonderheftes von besonderem Interesse. Bekanntlich steht der Pflanzenschutz schon seit geraumer Zeit im Mittelpunkt der öffentlichen Kritik. Der Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln wird unter anderem mitverantwortlich gemacht für den Verlust an Biodiversität, für Rückstände im Grund- und Oberflächenwasser, im Boden, in Ernteprodukten. Vielen geht die im Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln vereinbarte Risikoreduktion nicht weit genug. Gefordert wird eine deutliche und zeitnahe Reduzierung der Anwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln. In der Ackerbaustrategie wird als Zielstellung formuliert, die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, die nicht als „low-risk-Produkt“ im Sinne des EU-Pflanzenschutzrechts eingestuft sind, bis 2030 deutlich zu reduzieren. Aus der Anwendung glyphosathaltiger Pflanzenschutzmittel soll bis Ende 2023 ganz ausgestiegen werden. Aus diesen beiden Zielstellungen ergeben sich jede Menge Fragen. Hinreichend bekannt ist, dass alternative biologische Mittel und Verfahren fehlen. Bekannt ist auch, dass

resistente Sorten in nicht ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen oder aber verfügbare resistente Sorten im praktischen Anbau zu wenig genutzt werden. Nicht bekannt ist, welche Folgen ein Verzicht der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln hat. Im Institut für Strategien und Folgenabschätzung des JKI wird dieser Frage in Langzeitversuchen nachgegangen. Mit den Freilandversuchen wurde vor 25 Jahren begonnen, um eine solide Datengrundlage für die Folgenabschätzung zu schaffen. Diese Folgenabschätzung soll einen Beitrag zur Wirtschaftlichkeitsbewertung des Pflanzenschutzes leisten. Hierzu wird in der Ackerbaustrategie ausgeführt: „Für die Weiterentwicklung des Pflanzenschutzes ist ein Systemwechsel des Ackerbaus hin zu einem resilienten System mit robusteren Kulturpflanzen Grundvoraussetzung. Gleichwohl wird der Einsatz resistenter Sorten und nicht-chemischer Pflanzenschutzmittel oder Verfahren mit zusätzlichen Aufwendungen und Investitionen in neue Technik verbunden sein.


Hierfür sollen die Daten der Dauerfeldversuche eine wertvolle Informationsquelle sein, da sich viele Maßnahmen erst nach einigen Jahren auswirken, dies gilt z.B. für

den kompletten Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz. Die Beiträge in diesem Sonderheft zeigen eindrucksvoll, dass für eine sichere Beurteilung Untersuchungsergebnisse mehrerer Jahre, besser noch Dauerversuche, notwendig sind.


Interessenskonflikte

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Bettina Klocke, Christina Wagner, Jürgen Schwarz

Erkenntnisse und Perspektiven eines 23-jährigen Dauerfeldversuches zum integrierten Pflanzenschutz gegen pilzliche Schaderreger im Winterweizen

Findings and perspectives of a 23-year long-term field trial on integrated plant protection against fungal pathogens in winter wheat

265

Zusammenfassung

Zur Entwicklung von Konzepten zum integrierten Pflanzenschutz wurde im Jahr 1995 in Dahnsdorf (Land Brandenburg) ein Versuchsfeld des Julius Kühn-Institutes eingerichtet und unterschiedliche Dauerfeldversuche angelegt. Im Rahmen des vor Ort größten und ältesten Dauerfeldversuches „Strategievergleich umweltschonender Pflanzenschutz“ werden in diesem Beitrag die Effekte einer 50%igen Reduktionsstrategie in der Phase 1 (1997 bis 2007) bzw. einer konsequenten Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes (IPS) in der Phase 2 (2008 bis 2013) und modifiziert in der Phase 3 (2014 bis 2019) gegenüber einer praxisnahen Strategie, der guten fachlichen Praxis (GfP), im Hinblick auf den situationsbezogenen Pflanzenschutz gegen pilzliche Schadorganismen im Winterweizen untersucht. Während in den ersten beiden Phasen des Versuches (1997 bis 2013) in den Strategien identische Sorten angebaut wurden, erfolgte in der Phase 3 eine Erweiterung um den Baustein Sorte. Die am häufigsten aufgetretenen Krankheiten waren Blattseptoria (*Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum* (syn. *Septoria nodorum*)), Braunrost (*Puccinia triticina*) und Gelbrost (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), die über die Jahre in Abhängigkeit von Witterung und Befallsdruck sehr unterschiedlich stark auftraten. Der Fungizid-Behandlungsindex als Maß für die Intensität des Pflanzenschutzes, zeigte in der Phase 1 mit einem Wert von 0,8 (situationsbezogene Pflanzenschutzmittelanwendung (100%)) und 0,4 (50% der situationsbezogenen Anwen-

dung) im Mittel der Jahre einen signifikanten Unterschied zwischen den zu prüfenden Strategien, der auf die strikte Reduktion der Pflanzenschutzmittelanwendungen um 50% zurückzuführen war. Die Umstellung des Versuches in Phase 2 und 3 führte in der IPS-Strategie zu einem Fungizid-Behandlungsindex von 1,2 und 1,1 sowie in der GfP-Strategie zu Werten von 1,7 und 1,9, die sich im Vergleich der Strategien als nicht signifikant verschieden erwiesen. Beim Vergleich der Erträge ergab sich in nur zwei (2001, 2006) der 23 Jahre ein signifikanter Unterschied zwischen den Strategien. Im Vergleich der fungizidbehandelten Varianten zu den unbehandelten Kontrollen innerhalb der Strategien war in der GfP-Strategie in nur vier Jahren ein signifikanter Unterschied ersichtlich, bei der IPS-Strategie in nur einem Jahr. Fungizidanwendungen wären retrospektiv betrachtet häufig nicht erforderlich gewesen. Entsprechend der Erträge und Fungizid-Behandlungsindizes, war auch der fungizidkostenfreie Erlös gemittelt über die sechs Jahre der Phase 3 nicht signifikant verschieden. Die Untersetzung der Strategien GfP und IPS reichte bislang nicht aus, um einen deutlichen Unterschied zwischen diesen zu zeigen, was letztlich auf die schon geringen Fungizid-Behandlungsindizes in der Strategie GfP zurückzuführen ist, die in allen Phasen unter denen der regionalen Praxis lagen und auf die teils gut wirksamen Resistenzen der ausgewählten Sorten. Trotz der häufigen Überschreitungen der Bekämpfungsrichtwerte und der daraus resultierenden Fungizidanwendungen, war der weitere Krankheitsverlauf oft mäßig bis gering. Deutliche Ertragsunter-

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Bettina Klocke, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: bettina.klocke@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

6. Juni 2020

schiede zeigten sich lediglich in Jahren mit hohem Befallsdruck und günstigen Witterungsbedingungen für den Infektionsverlauf.

Stichwörter: Integrierter Pflanzenschutz, pilzliche Schaderreger, Fungizide, Sortenresistenz, Dauerfeldversuch, Winterweizen

Abstract

In order to develop concepts for integrated plant protection, a field trial of the Julius Kühn-Institute was set up in Dahnsdorf (Brandenburg) in 1995 and various long-term field trials were carried out. Within the framework of the largest and oldest on-site long-term field trial “Comparison of Strategies for Environmentally Friendly Plant Protection”, this paper examines the effects of a 50% reduction strategy in phase 1 (1997 to 2007) and a consistent implementation of integrated plant protection (IPS) in phase 2 (2008 to 2013) and modified in phase 3 (2014 to 2019) compared to a practical strategy (GfP), with regard to situation-specific plant protection against fungal pathogens in winter wheat. While in the first two phases of the trial (1997 to 2013) identical varieties were grown in the strategies, in phase 3 an extension was made to include the variety component. The most frequently occurring diseases were leaf blotch (*Zymoseptoria tritici*, *Septoria nodorum*), leaf rust (*Puccinia triticina*) and yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), which occurred with very different intensity over the years depending on weather and disease pressure. The fungicide treatment frequency index, as a measure of the intensity of plant protection, showed a value of 0.8 (situation-related plant protection product application (100%) and 0.4 (50% of situation-related application) in phase 1 on average over the years. This was a significant difference between the strategies to be tested, which was due to the strict reduction of plant protection product applications by 50%. The change of the trial in phase 2 and 3 resulted in a fungicide treatment frequency index of 1.2 and 1.1 in the IPS strategy and 1.7 and 1.9 in the GfP strategy, which proved to be not significantly different. When comparing the yields, there was a significant difference between the strategies in only two (2001, 2006) of the 23 years. Also in comparison with the untreated controls, a significant difference was evident in only four years in the GfP strategy, and in only one year in the IPS strategy. Fungicide applications would often not have been necessary retrospectively. In line with the yields and fungicide treatment frequency indices, the net profit averaged over the six years of phase 3 was also not significantly different. Thus, the differentiation of the GfP and IPS strategies was not sufficient to show a clear difference between them so far, which is ultimately due to the already low fungicide treatment frequency indices in the GfP strategy, which were below those of regional practice in all phases, and to the effective resistances of the selected varieties. Despite the frequent exceeding of the control

thresholds and the resulting fungicide applications, the disease progress was often moderate to low. Clear yield differences are only evident in years with high disease pressure and favourable weather conditions for infection.

Key words: Integrated plant protection, fungal diseases, fungicides, cultivar resistance, long-term field trials, winter wheat

Einleitung

Integrierter Pflanzenschutz bedeutet, situationsbezogen zu handeln und dabei die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß zu begrenzen. Chemischer Pflanzenschutz ist in der Intensität einzusetzen, die notwendig ist, um die Wirtschaftlichkeit zu sichern. Voraussetzung ist, dass alle anderen praktikablen Möglichkeiten wie vorbeugende und nichtchemische Maßnahmen zur Abwehr und Bekämpfung von Schadorganismen ausgeschöpft und die Belange des Verbraucher- und Umweltschutzes sowie des Anwenderschutzes ausreichend berücksichtigt wurden (ANONYM, 2009). Der integrierte Pflanzenschutz gilt als umweltverträglich, gewährt eine nachhaltige Landwirtschaft und sichert Erträge bei vertretbaren Kosten.

Bis zur Etablierung des integrierten Pflanzenschutzes war es ein weiter Weg. Die erste Definition des integrierten Pflanzenschutzes legten STERN et al. im Jahre 1959 vor, deren Konzept jedoch insbesondere im Ackerbau lange unbeachtet blieb. In den 70er Jahren rückte der integrierte Pflanzenschutz wieder mehr in den Fokus und insbesondere in den USA und Europa wurde die Umsetzung vorangetrieben. In Deutschland erfolgte eine Aufnahme in das Pflanzenschutzgesetz im Jahre 1986, uneinheitliche Auslegungen und Definitionen machten eine Umsetzung jedoch schwierig (FREIER et al., 1995). Im Ackerbau galt die Anwendung des integrierten Pflanzenschutzes aus ökonomischen und beratungstechnischen Gründen lange Zeit als unmöglich, trotz innovativer Forschung zur Sortenresistenz, zu Bekämpfungsrichtwerten und Prognosesystemen (FREIER & BURTH, 2006). Das im Jahr 2004 in Deutschland politisch vorgestellte Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz (BBA, 2006), griff den integrierten Pflanzenschutz auf, mit dem Ziel, die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß zu reduzieren. Die erste umfassende Regelung zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Europa wurde mit der Richtlinie 2009/128/EG (ANONYM, 2009) geschaffen und forderte die Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes als Hauptstrategie, Maßnahmen für eine breite Anwendung und deren verbindliche Umsetzung in den Mitgliedstaaten ab Januar 2014.

Der integrierte Pflanzenschutz spielt am Versuchsstandort des Julius Kühn-Institutes in Dahnsdorf (Brandenburg) seit langem eine große Rolle. Die vor 25 Jahren vom damaligen Institut für integrierten Pflanzenschutz der Biologischen Bundesanstalt für die Dauerfeldversuch-

che entwickelten Pflanzenschutzstrategien waren bereits auf das notwendige Maß bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ausgerichtet (PALLUTT et al., 2005; FREIER & PALLUTT, 2010; JAHN et al., 2010; SCHWARZ et al., 2015). Der vor Ort (Koordinaten: 52.108494 N, 12.636338 E) älteste und größte Versuch „Strategievergleich umweltschonender Pflanzenschutz“ wurde im Herbst 1995 mit einer sechsgliedrigen Fruchtfolge und den beiden Pflanzenschutzstrategien „Situationsbezogene Pflanzenschutzmittelanwendung (100%)“ und „50% von situationsbezogener Pflanzenschutzmittelanwendung“ angelegt. 12 Jahre später erfolgte eine Umstellung mit dem Vergleich der Pflanzenschutzstrategien „Integrierter Pflanzenschutz“ (IPS) und „Gute fachliche Praxis“ (GfP), die sich bis zur verbindlichen Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes weiterentwickelten und dann weitere Aspekte wie die Sortenresistenz mit einbezogen. Die Entwicklung des Schwellenwertkonzeptes (LUTZE & KLUGE, 1989; BEER, 1991) und auch des Behandlungsindezes als Maß für die Intensität des Pflanzenschutzes (ROßBERG et al., 2002) leisteten hier einen wichtigen Beitrag zur Bewertung der untersuchten Strategien.

In diesem Beitrag soll auf die Kontrolle der pilzlichen Pathogene im Winterweizen im Dauerfeldversuch „Strategievergleich umweltschonender Pflanzenschutz“ eingegangen werden. Auch wenn Blattpathogene in Dauerfeldversuchen keine zu erwartenden Langzeiteffekte wie z.B. die Unkräuter zeigen, konnten dennoch durch die langjährige Versuchsdauer Erkenntnisse bezüglich der Etablierung, des Auftretens und der Bekämpfung wichtiger Weizenpathogene und damit für den integrierten Pflanzenschutz gewonnen werden.

Material und Methoden

Versuchsdesign

Das Versuchsfeld des Julius Kühn-Institutes liegt in Dahnsdorf im südlichen Brandenburg, nahe der Stadt Bad Belzig im Naturraum „Hoher Fläming“. Die Bodenwertzahl des lehmigen Sandbodens liegt im Mittel bei 48 Punkten. Die mittlere Jahrestemperatur betrug im Zeitraum von 1997 bis 2019 9,6°C mit einem mittleren Jahresniederschlag von 578 mm (erfasst mit eigener Wetterstation, WITTCHEN et al., 2015). In der Region herrscht häufig Vorsommertrockenheit (PALLUTT et al., 2010; SCHWARZ et al., 2015).

Im Herbst 1995 wurde auf dem Versuchsfeld der Versuch „Strategievergleich umweltschonender Pflanzenschutz“ mit zwei Fruchtfolgen als zweifaktorielle randomisierte Spaltanlage angelegt (**Phase 1 – 1996 bis 2007**, PALLUTT et al., 2010). Die erste Fruchtfolge stellte eine getreidebetonte Marktfruchtausrichtung mit den Fruchtfolgegliedern Winterraps – Winterweizen – Winterroggen – Brache (1996–2001)/Erbse – Winterweizen – Wintergerste dar (sechs Wiederholungen). Die zweite Fruchtfolge orientiert sich am Futterbau und enthielt die Fruchtfolgeglieder Winterraps – Wintergerste – Luzerne-Klee-Gras – Winterroggen – Mais – Winterweizen (vier Wie-

derholungen). Geprüft wurden die Pflanzenschutzstrategien „Situationsbezogene Pflanzenschutzmittelanwendung (100%)“ und „50% von situationsbezogener Pflanzenschutzmittelanwendung“. In der situationsbezogenen Pflanzenschutzmittelanwendung (100%) erfolgte die Nutzung von Schwellenwerten und eine situationsbezogene Mittelwahl. Die 100%-Variante in dieser Phase 1 wird in der vorliegenden Untersuchung der guten fachlichen Praxis (GfP) in der Phase 2 und 3 gleichgesetzt.

Eine erste Neuausrichtung des Versuches erfolgte im Herbst 2007 (**Phase 2 – 2008 bis 2013**). Die Fruchtfolge wurde vereinheitlicht (Winterroggen – Winterweizen – Winterroggen/Zuckerhirse (Biogas) – Erbse – Wintertriticale), die Bodenbearbeitung in den Stufen „wendend“ (fünf Wiederholungen) und „nichtwendend“ (fünf Wiederholungen) als Faktor aufgenommen. Aus der Pflanzenschutzstrategie „situationsbezogene Pflanzenschutzmittelanwendung“ wurde die „Gute fachliche Praxis (GfP)“, aus der „50% von situationsbezogener Pflanzenschutzmittelanwendung“ der „Integrierte Pflanzenschutz (IPS)“. In der Strategie GfP wurde der Pflanzenschutzmittelsatz praxisüblich unter Einbeziehung der Hinweise des amtlichen Pflanzenschutzdienstes durchgeführt. In der Strategie IPS erfolgte darüber hinaus die Nutzung von Schwellenwerten, eine situationsbezogene Mittelwahl und Dosierung sowie ein- bzw. mehrfache Anwendung reduzierter Mittelaufwandmengen unter Anwendung von Expertenwissen und Prognose- sowie Entscheidungshilfemodellen.

Aufgrund der Änderungen beim Pflanzenschutzrecht, erfolgte zum Anlagejahr 2013 eine weitere Anpassung der Strategien (**Phase 3 – 2014 bis 2019**) in die „Allgemeinen Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes“ (GfP) und in die „Sektor- und kulturartenspezifischen Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes“ (IPS) mit der Fruchtfolge Winterraps – Winterweizen – Winterroggen (Zwischenfrucht) – Mais – Erbse – Wintertriticale (IPS)/Wintergerste (GfP) (2014–2016) ab 2017 Wintertriticale. Einbezogen wurden nun weitere Aspekte des Pflanzenschutzes wie die Sortenresistenz gegenüber wichtigen Getreidepathogenen in der Strategie IPS und in beiden Strategien wurde das Schwellenwertkonzept berücksichtigt. Die Prüffaktoren der drei Phasen sind in Tabelle 1 dargestellt.

In der ersten Phase des Versuchs wurden in beiden Strategien in Getreide unbehandelte Parzellen (UK), Parzellen nur mit Fungiziden (F), nur mit Herbiziden (H) und Parzellen mit Fungiziden und Herbiziden (HF) geprüft. Ab der Phase 2 (Herbst 2007) wurden die Parzellen ohne Herbizide (UK, F) wieder mit Herbiziden behandelt (H1, HF1), die Unterscheidung hinsichtlich des Einsatzes der Fungizide blieb bestehen. In dem Dauerfeldversuch gibt es somit in beiden Strategien Parzellen ohne (H, H1) und mit Fungizideinsatz (HF, HF1). Die Parzellen, deren Behandlung über den gesamten Zeitraum des Versuches (alle Phasen) mit Herbizid (H) und mit Herbizid und Fungizid (HF) erfolgte, wurden für die Auswertung ausgewählt.

Tab. 1. Prüffaktoren der drei Phasen des Versuches

Prüffaktoren	Phase 1 1996–2007	Phase 2 2008–2013	Phase 3 2014–2019
Pflanzenschutzstrategie	situationsbezogen (100%) und 50% von situationsbezogen identische Sorten	GfP und IPS identische Sorten	allgemeine Grundsätze des IPS (GfP) und Leitlinien des IPS (IPS) unterschiedliche Sorten in GfP und IPS
Bodenbearbeitung	wendend	wendend und nichtwendend	wendend und nichtwendend
Pflanzenschutzvarianten	UK, H, F, HF	H1, H, HF1, HF	H1, H, HF1, HF

UK = unbehandelte Kontrolle, H = nur Herbizid, F = nur Fungizid, HF = Herbizid und Fungizid, nach Umstellung auf Phase 2 wurde aus der UK = H1, und aus F = HF1

Auswahl der Sorten

Die Auswahl der Sorten erfolgte im Hinblick auf die regionale Empfehlung durch den Pflanzenschutzdienst des Landes Brandenburg sowie auf Resistenz gegenüber den am Standort wichtigsten Winterweizenpathogenen. In Tabelle 2 sind die über die Jahre angebaute Sorten sowie deren Resistenzprägung gegenüber den wichtigsten am Standort aufgetretenen Weizenpathogenen dargestellt. Während in den Erntejahren 1996 bis 2013 im Versuch die gleiche Weizensorte in beiden Strategien angebaut wurde, erfolgte mit Umstellung des Versuches zum Erntejahr 2014 in der Phase 3 der Anbau von unterschiedlichen Sorten in den Strategien GfP und IPS, um zusätzlich den Einfluss der Sortenresistenz auf die Intensität der Fungizidanwendungen abzubilden.

Die Sorte Pegassos erwies sich als stabil, mit einer gut wirksamen Resistenz gegen Gelbrost (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) und Braunrost (*Puccinia triticina*) sowie mäßiger Resistenz gegen Blattseptoria (*Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum*). Brilliant und Akrotos wurden für drei bzw. zwei Jahre angebaut und wiesen mäßige bis gute Resistenzen auf. Die Sorte JB Asano wurde insgesamt neun Jahre angebaut. Drei Jahre in der

Phase 2 des Versuches und weitere sechs Jahre nach Umstellung auf Phase 3 in der Strategie GfP, mit der Sorte Julius in der IPS Strategie. Wie für rassenspezifische Resistenzen üblich, zeigte die Sorte JB Asano über die neun Jahre starke Veränderungen hinsichtlich ihrer Resistenz und war ab 2013 mit Noten von 7 als hoch anfällig gegenüber Gelbrost und Blattseptoria einzustufen. Die in der Phase 3 in der Strategie IPS angebaute Sorte Julius erwies sich zunächst als gelbrost- und septoriaresistent, aber auch hier passte sich die Pathogenpopulation über die Jahre an und die Resistenz nahm kontinuierlich ab. Hinzu kam eine abnehmende Widerstandsfähigkeit gegen den Braunrost.

Bewertung und Bekämpfung des Krankheitsauftretens

Um über notwendige Fungizidanwendungen entscheiden zu können und epidemiologische Erkenntnisse zu sammeln, erfolgte in allen Jahren die Bewertung des Befalls ab BBCH 31 durch wöchentliche Kontrollbonituren bis zum ersten Behandlungstermin. Zur Erfassung der Wirksamkeit der Fungizide, erfolgten Erfolgsbonituren 14 bzw. 21 Tage nach der Applikation. Diese erfolgten

Tab. 2. Angebaute Winterweizensorten der drei Versuchsphasen, Erntejahr sowie deren ResistenzEinstufung gegenüber den Blattkrankheiten Blattseptoria, Gelbrost und Braunrost laut Beschreibender Sortenliste des Bundessortenamtes 1996ff.

Phase	Erntejahr	Strategie	WW-Sorte	ResistenzEinstufung		
				Blattseptoria	Gelbrost	Braunrost
1	1996	100%/50%	Ritmo	4	3	5
	1997–2005		Pegassos	4	2	3 (4)
	2006–2007		Akrotos	4	2	3 (4)
2	2008–2010	GfP/IPS	Brilliant	5	3	4
	2011–2013		JB Asano	6 (7)	4 (8)	5
3	2014–2019	GfP	JB Asano	7	7	5
	2014–2019	IPS	Julius	3 (4)	2 (4)	4 (5)

- = nicht untersucht, () = veränderte ResistenzEinstufung, weiß = 1–3 resistent, grau = 4–6 mäßig anfällig, dunkelgrau = 7–9 anfällig, Einstufung nach Bundessortenamt 1996 bis 2019

nach Behandlung in der unbehandelten Kontrolle (H) und in der behandelten Variante (HF). Herbizidanwendungen wurden in allen betrachteten Varianten (H und HF) durchgeführt, bei Bedarf wurden auch Insektizide eingesetzt. Die Herbizidanwendungen waren in den Strategien (100% und 50% bzw. IPS und GfP) nicht immer identisch. Erfasst wurde die Befallsstärke und -häufigkeit aller aufgetretenen pilzlichen Schaderreger auf den oberen drei bzw. vier Blättagen. Pro Parzelle wurden bis zu 25 Pflanzen bonitiert. Eine Behandlung erfolgte mit einem für die Indikation zugelassenen Fungizid (Tab. 3) nach Überschreitung des für jede Krankheit spezifischen Bekämpfungsrichtwerts (Tab. 4) (PFLANZENSCHUTZDIENSTE DER LÄNDER BERLIN, BRANDENBURG, SACHSEN, SACHSEN-ANHALT UND THÜRINGEN, 2020).

Bewertung der Intensität des Pflanzenschutzes und der Wirtschaftlichkeit

Zur Bewertung der Intensität der Fungizidanwendungen, wurden die Behandlungshäufigkeit als Anzahl durchgeführter Fungizidanwendungen und der Behandlungsindex ermittelt. Der Behandlungsindex errechnet sich aus dem Quotienten der realen Aufwandmenge und der maximal möglichen, multipliziert mit dem Quotienten aus behandelter Fläche und Gesamtfläche (ROßBERG et al., 2002). Eine Applikation auf der gesamten Fläche mit der vollen Aufwandmenge, ergibt einen Behandlungsindex von 1. Wird die Aufwandmenge um 50% reduziert, halbiert sich der Behandlungsindex auf einen Wert von 0,5.

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurden die in dem jeweiligen Jahr gültigen Erzeugerpreise (AMIMARKTBILANZ, 2019) und Fungizidpreise sowie Überfahrtskosten in Höhe von 12,48 €/ha zugrunde gelegt. Der fungizidkostenfreie Erlös ergibt sich aus dem Produkt von Ertrag und Erzeugerpreis abzüglich der Fungizid- und Überfahrtskosten.

Statistische Analyse

Die statistische Auswertung des Datenmaterials erfolgte mit dem Statistikprogrammpaket SAS[®]9.4 Version M6 (©2016 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Die grafische Darstellung der Befallsstärke unterschiedlicher pilzlicher Schaderreger (Abb. 1) wurde mit der Prozedur SG-PANEL und die Boxplots des Merkmals Ertrag (Abb. 2 bis 4) mit der Prozedur SGPLOT erstellt. Die statistische Auswertung der Prüfmerkmale Ertrag und Erlös erfolgten mit der Prozedur MIXED mit dem SIMULATE-Verfahren, als paarweise Vergleiche mit einem versuchsbezogenem Alpha von 0.05. Die anschließende weitere Analyse erfolgte mit der Prozedur PLM. Die Auswertung des Prüfmerkmals Behandlungsindex erfolgte als Mittelwertvergleich mit der Prozedur T-Test.

Ergebnisse und Diskussion

Von den insgesamt 25 Jahren wurden 23 in die Auswertung mit einbezogen, da im ersten Versuchsjahr 1996 noch Anpassungen vorgenommen wurden. Zur Auswer-

tung der Phase 1 wurden ausschließlich die Daten des in der getreidebetonten Marktfruchtfolge angebauten Winterweizens 1 herangezogen (siehe Material- und Methodenteil). Die in der Phase 2 angelegten Prüffaktoren wendende und nichtwendende Bodenbearbeitung ergaben keine grundlegenden Unterschiede bezüglich des Krankheitsauftretens, so dass diese zusammengefasst wurden.

Auftreten und Bekämpfung pilzlicher Schaderreger

Die Befallsstärke für die Krankheiten Gelbrost, Blattseptoria und Braunrost in den 23 Versuchsjahren ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Echte Mehltau trat in einigen Jahren auf, jedoch in sehr geringer Stärke und musste entsprechend nicht kontrolliert werden. Das Krankheitsauftreten innerhalb des dargestellten Versuchszeitraumes wurde stark von der Sortenresistenz und dem örtlichen Pathotypenspektrum beeinflusst. Auch die Witterung spielte hier eine große Rolle. So führte die am Standort häufig auftretende Vorsommertrockenheit (JAHN et al., 2010; SCHWARZ et al., 2015) in vielen Jahren trotz hoher Frühjahrinfektionen mit Blattseptoria zur Stagnation des Befalls, da die für den Pilz notwendige Feuchte zur weiteren Verbreitung oft fehlte.

Dennoch trat Blattseptoria (Abb. 1A) am Standort regelmäßig auf und dominierte häufig das Befallsgeschehen. Im Jahr 2013 war der Befall mit einer Stärke von 65% in der Sorte JB Asano besonders stark, aber auch die Jahre 2002, 2007 und 2010 gehörten mit Befallsstärken von mehr als 20% zu Perioden mit hohem Befallsdruck. Im Gegensatz dazu trat der Braunrost (Abb. 1B) in den ersten zehn Jahren gar nicht auf. Höhere Befallsstärken konnten nur in den Jahren 2007 und 2012 bonitiert werden und in den Jahren 2016 bis 2018 trat Braunrost, vor allem in der Sorte Julius (IPS), verstärkt auf. Hoher Gelbrostbefall zeigte sich besonders in den Jahren 2014 bis 2016 (Abb. 1C) (WAGNER et al., 2016).

Die geringen Befallsstärken für die beiden Roste in der Phase 1 des Versuches (1997 bis 2007), sind auf die gut wirksamen Resistenzen der Sorten Pegassos und Akrotos gegenüber den auftretenden Rassen bei Gelbrost und Braunrost zurückzuführen. Erst mit dem Anbau der Sorte JB Asano ab Herbst 2010 (zweite Hälfte Phase 2 und gesamte Phase 3) und ihrer hohen Anfälligkeit gegenüber Blattseptoria und Gelbrost, kam es zu starkem Krankheitsbefall. Die seit dem Jahr 2014 verstärkt in ganz Europa aufgetretene Gelbrostrasse Warrior ist sowohl an höhere Temperaturen angepasst, kann wesentlich mehr Sporen produzieren und verursachte erhebliche Ertragsausfälle in anfälligen Sorten (FLATH et al., 2014; HOVMÖLLER et al., 2015). Am Standort Dahnsdorf führte der Gelbrost in der Sorte JB Asano in den Jahren 2014 bis 2016 zu Befallsstärken von über 50% bis maximal 100% (Abb. 1C). Seit Auftreten der neuen Rasse konnte in allen anschließenden Jahren Gelbrost in der Sorte JB Asano bonitiert werden. Die im Jahr 2014 zusätzlich in Phase 3 angebaute Sorte Julius erwies sich im Gegensatz dazu in den Jahren 2014 bis 2018 als gelbrostresistent. Im Jahr 2019 trat erstmalig Gelbrostbefall in einigen Wiederholungen der Sorte Julius auf, was

Tab. 3. Eingesetzte Fungizide, deren Aufwandmengen (AWM) und das Entwicklungsstadium (BBCH) zum Zeitpunkt der Fungizidanwendung in den drei Phasen des Versuches in den Strategien GfP bzw. situationsbezogene Pflanzenschutzmittelanwendung (100%) und IPS bzw. Reduktionstrategie (50%)

Phase	Jahr	Pflanzenschutzstrategie						
		GfP/100%			IPS/50%			
		BBCH	Fungizid	AWM (l bzw. kg/ha)	BBCH	Fungizid	AWM (l bzw. kg/ha)	
1	1996	53	Opus Top	1,5	53	Opus Top	0,75	
		75	Pronto	1,0	75	Pronto	0,5	
	1997	65	Juwel	1,0	65	Juwel	0,5	
		1998	61	Folicur	0,5	61	Folicur	keine Behandlung
	1999	41	Juwel Top	1,0	41	Juwel Top	0,5	
	2000			keine Behandlung			keine Behandlung	
	2001	65	Caramba	1,5	65	Caramba	0,75	
	2002	34	Unix	0,8	34	Unix	0,4	
			Alto 100 SL	0,8		Alto 100 SL	0,4	
		65	Folicur	0,5	65	Folicur	0,25	
			Juwel Top	0,5		Juwel Top	0,25	
	2003			keine Behandlung			keine Behandlung	
	2004	49	Opera	1,2	49	Opera	0,6	
	2005	39	Impulse	0,8	39	Impulse	0,4	
			Proline	0,8		Proline	0,4	
	2006	37	Proline	0,8	37	Proline	0,4	
	2007	47	Input	1,25	47	Input	0,63	
	2	2008	31	Proline	0,8	31	Proline	0,5
			39	Fandango	0,75	39	Fandango	0,75
				Input classic	0,75		Input classic	0,75
2009	61	Prosaro	0,8	61	Swing Gold	1,2		
		Opus Top	1,2		Opus Top	1,2		
		Flexity	0,4		Flexity	0,4		
2010	43	Fandango	0,75	43	Input classic	1,0		
		Input classic	0,75					
2011	37	Fandango	1,2	37	Fandango	1,0		
2012	37	Acanto	0,8	39	AviatorXPro	0,75		
		Pronto Plus	1,2		Fandango	0,75		
2013	37	AviatorXPro	0,75	37	Adexar	1,5		
		Fandango	0,75					
	65	Osiris	2,5					
3	2014	32	AviatorXPro	0,7	41	AviatorXPro	1,25	
			Fandango	0,7				
	51	Prosaro	1,0					
2015	31	Opus Top	1,5			keine		
	45	Seguris	1,0			Behandlung		
		AmistarOpti	1,5					
2016	33	Input classic	1,25	45	Input Xpro	1,25		
	55	Cerix	2,0					
2017	32	Input classic	1,25	32	Input classic	1,25		
	61	Elatus Era	1,0	69	Seguris	1,0		
					Amistar Opti	1,5		
2018	41	Adexar	1,8	59	Elatus Era	1,0		
					Sympara	0,33		
2019	33	Input classic	1,25	41	Adexar	1,8		
	61	Adexar	1,8					

Tab. 4. Bekämpfungsrichtwerte für pilzliche Schaderreger im Winterweizen sowie Boniturobjekt und BBCH-Stadium

Krankheit	Boniturobjekt	BBCH	Bekämpfungsrichtwert (Befallshäufigkeit)
Echter Mehltau	3 obere Blätter	32–61	60%
Septoria-Arten* Blattbefall	4 obere Blätter	32–37 39–61	30% 10%
Gelbrost	3 obere Blätter	31–61	erste Nester (anfällige Sorten) 30% (resistente Sorten)
Braunrost	3 obere Blätter	37–61/69	30%

*=zusätzlich Nutzung des Prognosemodells SEPTRI, verändert nach PFLANZENSCHUTZDIENSTE DER LÄNDER BERLIN, BRANDENBURG, SACHSEN, SACHSEN-ANHALT UND THÜRINGEN, 2020

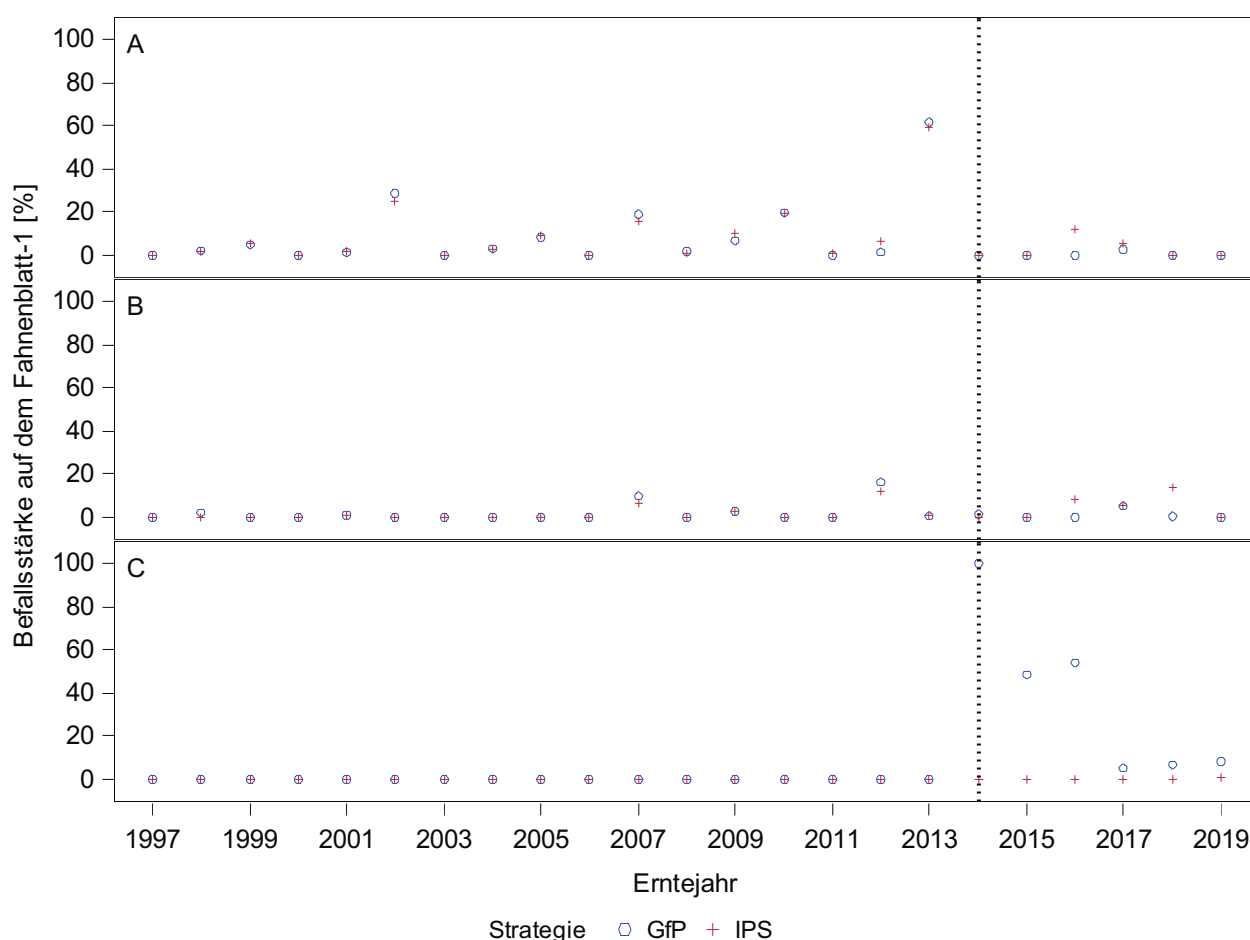


Abb. 1. Befallsstärke der Krankheiten Blattseptoria (A), Braunrost (B) und Gelbrost (C) in der unbehandelten Kontrolle auf dem Fahnenblatt-1 (F-1) zum BBCH 65–75 in den Jahren 1997 bis 2019 für die Strategien GfP (vormals situationsbezogene Pflanzenschutzmittelanwendung (100%)) und IPS (vormals Reduktionsstrategie (50%)). Ab dem Jahr 2014 (senkrechter Strich) wurden in den Strategien GfP und IPS unterschiedliche Sorten angebaut

auf eine Anpassung der Pathogenpopulation hinweist und eine Herabstufung der Resistenz auf eine Note 4 durch das Bundessortenamt (BUNDESSORTENAMT, 2019) zur Folge hatte.

Der Fungizid-Behandlungsindex (F-BI) und die Fungizid-Behandlungshäufigkeit (F-BH) sind der Tabelle 5 zu

entnehmen. Sie unterschieden sich deutlich in der Strategie GfP/100% in den drei Phasen, vor allem bedingt durch die unterschiedliche Resistenzprägung der Sorten gegenüber den vorherrschenden Krankheiten und dem örtlichen Befallsdruck (Abb. 1). Die gute Resistenz der Sorten der Phase 1 führte zu einer mittleren Fungi-

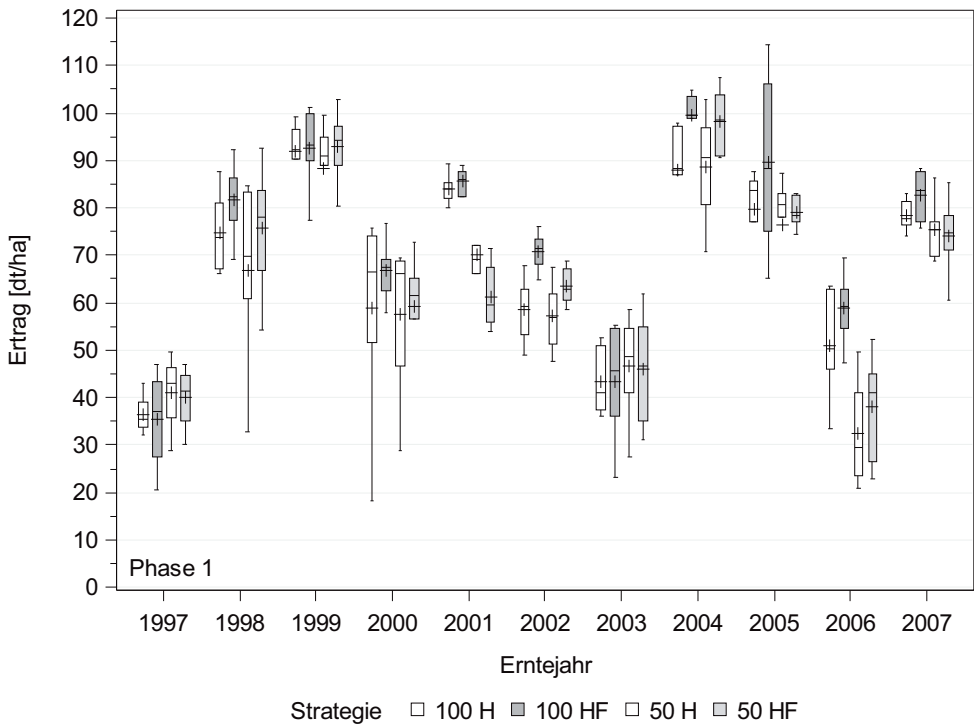


Abb. 2. Boxplots der Erträge der Pflanzenschutzstrategien situationsbezogene Pflanzenschutzmittelanwendung (100%) und 50% von situationsbezogen in der jeweils unbehandelten Kontrolle (100 H, 50 H) und der behandelten Variante (100 HF, 50 HF) in der Phase 1

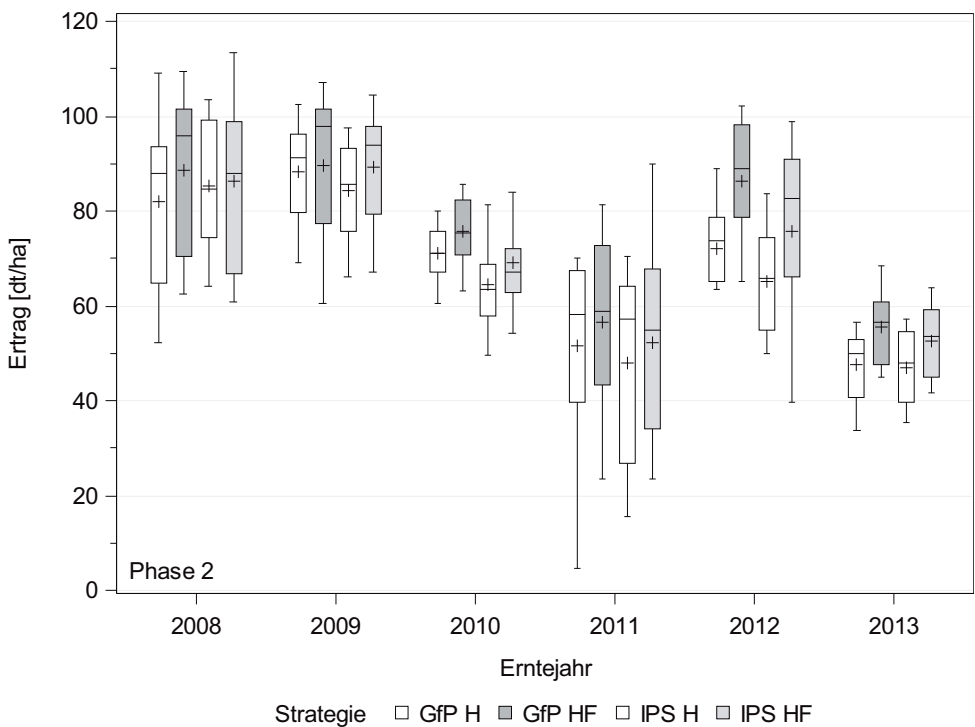


Abb. 3. Boxplots der Erträge der Pflanzenschutzstrategien GfP und IPS in der jeweils unbehandelten Kontrolle (GfP H, IPS H) und der fungizidbehandelten Variante (GfP HF, IPS HF) in der Phase 2

zid-Behandlungshäufigkeit von 0,9 im Gegensatz zu 1,8 in der Phase 3. Auch der Fungizid-Behandlungsindex ist mit 0,8 (Phase 1) deutlich geringer als in der anfälligen Sorte JB Asano (Phase 3) mit 1,9.

Beim Vergleich der Strategien untereinander, zeigte sich ein signifikanter Unterschied im Fungizid-Behandlungsindex in der Phase 1 ($t(19) = -2,40$, $p = 0,0270$), bedingt durch das vorgegebene Versuchsdesign mit einer

Reduktion des Fungizid-Behandlungsindex um mindestens 50%. In der Phase 2 waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar ($t(11) = -1,8$, $p = 0,1138$), was auf ähnliche Fungizid-Behandlungsmuster in den Strategien in den einzelnen Jahren zurückzuführen ist. Dies zeigt, dass beim Anbau identischer Sorten hinsichtlich der pilzlichen Schaderreger keine deutlichen Fungizidreduktionen zu erzielen waren. Aber auch durch den

zusätzlichen Sortenaspekt in der Phase 3 waren keine signifikanten Unterschiede ersichtlich ($t(10) = -1,81$, $p = 0,1011$), was letztlich darauf zurückzuführen war, dass auch in der Sorte Julius (IPS-Strategie) die Krankheiten Septoria-Blattdürre und Braunrost auftraten, die aufgrund der Überschreitung des Bekämpfungsrichtwertes Fungizidanwendungen erforderten. Die Bekämpfungsrichtwerte (Tab. 4) waren aber in der Sorte Julius wesentlich häufiger unterschritten bzw. wurden erst zeitlich später überschritten als in der anfälligen Sorte JB Asano, was zu einer geringeren mittleren Fungizid-Behandlungshäufigkeit in der Phase 3 mit nur einer Behandlung in der Sorte Julius, aber 1,8 Behandlungen in der Sorte JB Asano führte. Im Jahr 2015 waren, trotz der in Deutschland vorherrschenden Gelbrostepidemien, keine Behandlungen in der Sorte Julius erforderlich, in der Sorte JB Asano hingegen erfolgten in allen Jahren mit hohem Gelbrostbefall zwei Anwendungen. Dies zeigt das Potenzial einer resistenten Sorte bei hohem Befallsdruck.

Keine Fungizidanwendungen in Winterweizen erfolgten außerdem in der Phase 1 im Jahr 1998 (nur 50%), 2000 und 2003, einem extremen Trockenjahr (PALLUTT et al., 2010; SCHWARZ et al., 2015).

Während in der Phase 1 eine Unterscheidung der Strategien durch eine konsequente Halbierung des Fungizideinsatzes festgelegt war, sollte in der Phase 2 die GfP Strategie als praxisübliche Variante und die IPS Strategie als Variante, die den optimierten integrierten Pflanzenschutz darstellt, geführt werden. Eine Unterscheidung war aber häufig in dieser Form nicht mit letzter Konsequenz möglich, da die Entscheidungen letztlich auch subjektiv beeinflusst wurden. Dies führte dazu, dass nach Bestandeskontrollen und nicht überschrittenen Bekämpfungsrichtwerten Fungizidanwendungen in der GfP Strategie nicht durchgeführt wurden, obwohl in der Praxis in der gleichen Situation wahrscheinlich eine Behandlung erfolgt wäre. Grund hierfür sind sicherlich auch die häufigeren Bonituren im Vergleich zur Praxis. Unterschiede

Tab. 5. Fungizid-Behandlungsindex (F-BI) und Fungizid-Behandlungshäufigkeit (F-BH) für die Strategien GfP (vormals situationsbezogene Pflanzenschutzmittelanwendung (100%)) und IPS (vormals Reduktionsstrategie (50%)) in den behandelten Varianten der drei Phasen des Versuches

Phase	Erntejahr	GfP/100%		IPS/50%	
		F-BI	F-BH	F-BI	F-BH
1	1997	1,0	1	0,5	1
	1998	1,0	1	0,0	0
	1999	1,0	1	0,5	1
	2000	0,0	0	0,0	0
	2001	1,0	1	0,5	1
	2002	2,0	2	1,0	2
	2003	0,0	0	0,0	0
	2004	0,7	1	0,3	1
	2005	0,5	1	0,3	1
	2006	1,0	1	0,5	1
	2007	1,0	1	0,5	1
Mittelwert	1997–2007	0,8	0,9	0,4	0,8
2	2008	2,1	2	1,1	1
	2009	2,4	1	2,4	1
	2010	1,1	1	0,8	1
	2011	0,8	1	0,7	1
	2012	1,6	2	1,1	1
	2013	1,9	2	0,8	1
Mittelwert	2008–2013	1,7	1,5	1,2	1,0
3	2014	2,0	2	1,0	1
	2015	2,6	2	0,0	0
	2016	1,7	2	0,8	1
	2017	2,0	2	2,6	2
	2018	0,9	1	1,3	1
	2019	1,9	2	0,9	1
Mittelwert	2014–2019	1,9	1,8	1,1	1,0

zwischen den beiden Pflanzenschutzstrategien waren somit oft geringer als erwartet. Dies erklärt auch die Abweichungen der Fungizid-Behandlungsindizes in der GfP-Strategie von denen des „Netztes Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“ bzw. des „Panels Pflanzenschutzmittelanwendungen (PAPA)“, die dort deutlich höher liegen. Im Mittel der Jahre 2007 bis 2016 liegt der Fungizid-Behandlungsindex in den Vergleichsbetrieben bei 2,2 (DACHBRODT-SAAAYDEH et al., 2018) und bei den PAPA-Betrieben für die Jahre 2011 bis 2018 bei 2,1 (ROßBERG, 2020). Der Vergleich der beiden Strategien bezüglich der Fungizidentscheidungen war unter dem hinzugenommenen Aspekt der Sortenresistenz in der Phase 3 wesentlich besser umzusetzen und zeigte den Vorteil einer resistenten Sorte im Hinblick auf die Reduktion von Fungizid-Anwendungen in Jahren mit hohem Befallsdruck. Dennoch waren auch hier die Fungizid-Behandlungsindizes über die Jahre in Phase 3 nicht signifikant voneinander verschieden, was zeigt, dass ein deutlicher Unterschied bei der Anwendung von Fungiziden auch mit der Umsetzung der Strategien mit dem zusätzlichen Baustein der Sorte bisher nicht möglich war.

Diese für jede Sorte individuell situationsbezogenen Fungizidanwendungen wurden durch das Schwellenwertkonzept zur Bekämpfung von pilzlichen Schaderregern erst möglich (LUTZE & KLUGE, 1989; BEER, 1991). In Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass vorbeugende Fungizidbehandlungen gegen pilzliche Pathogene sich häufiger als unwirtschaftlich erwiesen und unter Beachtung der Bekämpfungsschwellen Anwendungen eingespart und somit die Intensität des Pflanzenschutzes, besonders bei der Verwendung resistenter Sorten, entscheidend beeinflusst werden konnte (BEER et al., 1996; JAHN et al., 2010). Die Umsetzung des Konzeptes des integrierten Pflanzenschutzes in die Praxis erfordert die hier kontinuierlich durchgeführten Bestandeskontrollen, die eine Bewertung des Zustandes der landwirtschaftlichen Schläge ermöglichen (FREIER et al., 1997, 2018). Diese sind in regelmäßigen Abständen durchzuführen, um alle auftretenden Schaderreger sowie Unkräuter zu erfassen und zu überprüfen, ob bestehende Bekämpfungsrichtwerte überschritten und eine Pflanzenschutzanwendung erforderlich ist. Zusätzlich informieren die Pflanzen-

schutzdienste der Länder in ihren Warndiensten über das örtliche Befallsgeschehen und geben wichtige Informationen zur Mittelwahl, zu Aufwandmengen, zum Resistenzmanagement und zu Entscheidungshilfesystemen (PFLANZENSCHUTZDIENSTE DER LÄNDER BERLIN, BRANDENBURG, SACHSEN, SACHSEN-ANHALT UND THÜRINGEN, 2020).

Ertrag und Erlös

Neben dem Fungizideinsatz, spielt der zu erzielende Ertrag einer Sorte für die Umsetzung und Etablierung des integrierten Pflanzenschutzes im praktischen Anbau eine große Rolle. Die Erträge der Strategien in den einzelnen Jahren und Phasen sind in den Abbildungen 2 bis 4 dargestellt. Es zeigt sich, dass bedingt durch die Witterung und den Befallsdruck, die Erträge über die Jahre stark variieren können und auch innerhalb der Jahre aufgrund der Heterogenität des Bodens in den einzelnen Varianten große Streuungen auftraten. Zu erwähnen sind hier die Jahre 2003 und 2018 mit extremer Trockenheit sowie das Jahr 2013 mit einem Hagelschlag kurz vor der Winterweizenernte.

Fungizidanwendungen führten in der Strategie GfP bzw. in der situationsbezogenen Pflanzenschutzmittelanwendung in allen Jahren mit Ausnahme des Jahres 1997 tendenziell zu Mehrerträgen in den behandelten Varianten (HF) verglichen mit den fungizid-unbehandelten Varianten (H). Dieser Unterschied erwies sich jedoch nur in der Phase 3 in den Jahren 2012, 2014, 2016 und 2017 als signifikant verschieden (Tab. 6). Eine Behandlung wäre somit häufig nicht erforderlich gewesen.

In Jahren mit hohem Befallsdruck, waren auch signifikante Mehrerträge zu erzielen. Der höchste Mehrertrag konnte in Phase 3 im Jahr 2014 in der Sorte JB Asano durch die Bekämpfung des am Standort massiven Gelbrostbefalls erzielt werden (Abb. 4). Die zwei durchgeführten Fungizidanwendungen führten zu einem signifikanten Mehrertrag in der hoch anfälligen Sorte von 38 dt/ha. In der Reduktions- (Phase 1) bzw. IPS-Strategie (Phase 2 und 3) wies in sechs der 23 Jahre die unbehandelte Kontrolle einen höheren Ertrag auf als die behandelte Variante. Der höchste und einzige signifikante Mehrertrag wurde in der Strategie IPS im Jahr 2017 in der Sorte Julius mit 16,1 dt/ha erreicht (Tab. 6).

Tab. 6. Paarweiser Vergleich der Erträge (dt/ha) zwischen den unbehandelten (H) und behandelten Varianten (HF) der Pflanzenschutzstrategien GfP/100% und IPS/50% in den einzelnen Versuchsjahren (Tukey-Kramer LSD, $\alpha = 0.05$, dargestellt wurden ausschließlich signifikante Unterschiede)

Jahr	Strategie	Strategie	Geschätzte Mittelwertdifferenzen	Standardfehler	DF	t Value	Pr > t	Adj P
2012	GfP H	GfP HF	-14.1430	4.8198	635.1	-2.93	0.0035	0.0182
2014	GfP H	GfP HF	-38.0490	4.8198	635.1	-7.89	<.0001	<.0001
2016	GfP H	GfP HF	-20.0640	4.8198	635.1	-4.16	<.0001	0.0002
2017	GfP H	GfP HF	-31.6980	4.8198	635.1	-6.58	<.0001	<.0001
	IPS H	IPS HF	-16.1410	4.8198	635.1	-3.35	0.0009	0.0048

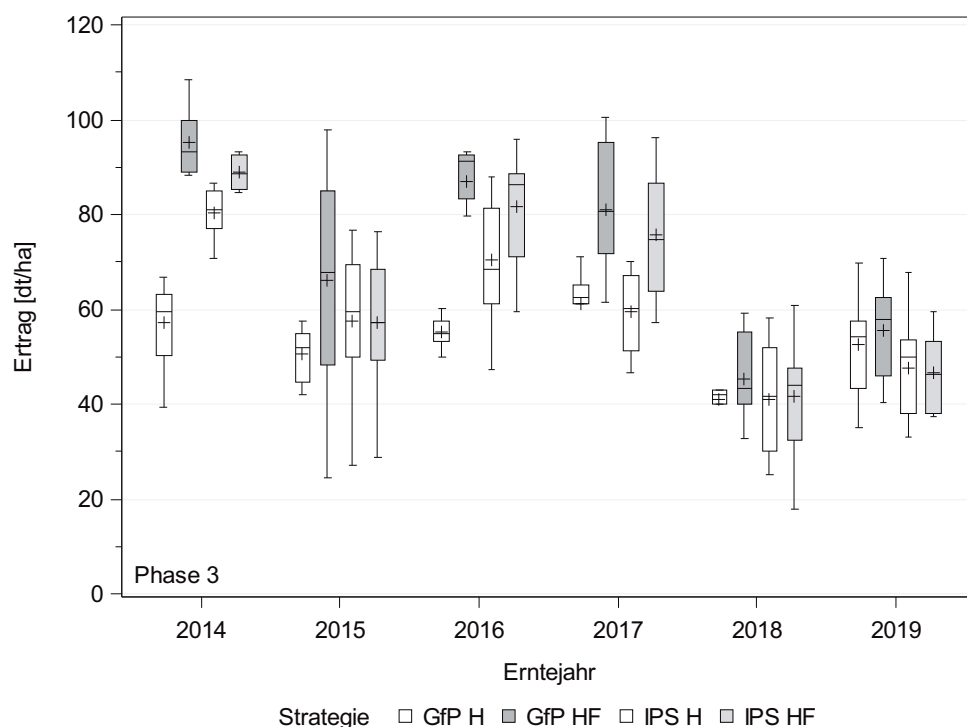


Abb. 4. Boxplots der Erträge der Pflanzenschutzstrategien GfP und IPS in der jeweils unbehandelten Kontrolle (GfP H, IPS H) und der behandelten Variante (GfP HF, IPS HF) in der Phase 3

Im Mittel der Jahre lag der Ertrag der unbehandelten Kontrollen (H) bei 68,7 dt/ha in der Strategie GfP bzw. situationsbezogene Pflanzenschutzmittelanwendung (100%) und bei 63,1 dt/ha in der Strategie IPS bzw. Reduktionsstrategie (50%). In den fungizidbehandelten Varianten (HF) konnten 73,4 dt/ha (GfP/100%) bzw. 67,2 dt/ha (IPS/50%) erzielt werden. Die unbehandelten Kontrollen zeigten bereits einen für den Standort guten Basisertrag, was auf die teils gut wirksamen Resistenzen der angebauten Sorten hinweist.

Beim Vergleich der beiden Pflanzenschutzstrategien untereinander, wies die Strategie GfP in den einzelnen Phasen des Versuches einen tendenziell um 7,1 (Phase 1), 4,5 (Phase 2) und 6,4 dt/ha (Phase 3) höheren Ertrag als die Strategie IPS auf. Diese Ertragsunterschiede erwiesen sich in allen Phasen als nicht signifikant verschieden (Tab. 7). Auf Jahresebene war nur in den Jahren 2001 ($p = 0,0006$) und 2006 ($p = 0,00052$) ein signifikanter Unterschied zwischen der situationsbezogenen Pflanzenschutzmittelanwendung (100%) und der Reduktionsstrategie ersichtlich.

Die in der ersten Phase strikte Reduktion der Fungizid-aufwandmengen um 50% führte tendenziell im Mittel zu den größten Unterschieden, aber auch zur größten Einsparung an Fungiziden (Tab. 3). Aufgrund des Resistenzmanagements, das im Hinblick auf zukünftig immer weniger zur Verfügung stehende Fungizide stark in den Vordergrund rückt, wird eine pauschale Reduktion vom Pflanzenschutzdienst nicht empfohlen (PFLANZENSCHUTZDIENSTE DER LÄNDER BERLIN, BRANDENBURG, SACHSEN, SACHSEN-ANHALT UND THÜRINGEN, 2020). Die Fungizidanwendung sollte sich am Krankheitsbefall orientieren, der durch regelmäßige Bestandeskontrollen erfasst wird. Am Standort Dahnsdorf waren jedoch häufig früh in der Saison die Bekämpfungsrichtwerte für Blattseptoria überschritten, so dass eine Bekämpfung erforderlich wurde, die örtliche Witterung aber oft zur Stagnation des Befalls führte. Retrospektiv betrachtet, wäre eine Behandlung nicht erforderlich gewesen. Dies zeigen auch die oft nicht signifikanten Unterschiede im Ertrag beim Vergleich der unbehandelten Kontrollen mit den fungizidbehandelten Varianten (Tab. 6).

Tab. 7. Paarweiser Vergleich innerhalb der drei Phasen zwischen den behandelten Varianten (HF) der Pflanzenschutzstrategien GfP/100% und IPS/50% (Tukey-Kramer LSD, $\alpha = 0.05$)

Phase	Strategie	Strategie	Geschätzte Mittelwertdifferenzen	Standardfehler	DF	t Value	Pr > t	Adj P
Phase 1	100 HF	50 HF	7.5052	3.5074	247	2.14	0.0334	0.1435
Phase 2	GfP HF	IPS HF	4.5318	3.6083	227	1.26	0.2104	0.5919
Phase 3	GfP HF	IPS HF	6.4330	3.1910	227	2.02	0.0450	0.1851

Eine wirtschaftliche Betrachtung der Phase 1, zeigte, dass die Fungizidanwendungen innerhalb der Strategien häufig unwirtschaftlich waren, was auf die gut wirksame Resistenz der Sorte Pegasso zurückzuführen war und bereits in den unbehandelten Kontrollen zu guten Basiserträgen führte (JAHN et al., 2010). Bei mittleren bis höheren Erträgen war die situationsbezogene Strategie (100%) trotz höherer Erträge der 50% Variante wirtschaftlich unterlegen. Eine erste Betrachtung des fungizidkostenfreien Erlöses in der Phase 3 ergab eine mittlere Differenz zwischen den Sorten JB Asano (GfP) und Julius (IPS) von 41,34 €/ha (Tab. 8). Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant (Tab. 9). Auch wenn die resistenterere Sorte Julius tendenziell zu einer Einsparung von Fungiziden, aber auch zu einem tendenziell geringeren Ertrag und fungizidkostenfreien Mindererlös im Mittel der sechs betrachteten Jahre führte, zeigten die geprüften Pflanzenschutzstrategien statistisch betrachtet keinen Unterschied.

Zurückzuführen ist dieses Ergebnis sicherlich, wie bereits beim Behandlungsindex erwähnt, auch auf die regelmäßigen Bestandskontrollen am Standort, die ein frühzeitiges Erkennen des in den Jahren 2014 bis 2016 aufgetretenen Gelbrost in der hoch anfälligen Sorte JB Asano und ein schnelles Handeln ermöglichten und somit nur maximal zwei Behandlungen zur Folge hatten

(Tab. 3). Den geringen Spielraum, den hoch anfällige Sorten bezüglich einer Behandlung bieten, führte in diesen Jahren in der Praxis zu wesentlich mehr Behandlungen. Im „Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“ erfolgten in anfälligen Sorten, hauptsächlich bedingt durch die Gelbrostepidemien, bis zu vier Fungizidanwendungen (DACHBRODT-SAAAYDEH et al., 2018), die letztlich auch zu geringeren Erlösen führten.

Der Aspekt der Krankheitsresistenz gilt bei der Wahl einer Sorte durchaus als ein entscheidendes Instrument, um krankheitsbedingte Ertragsminderungen zu vermeiden und Fungizide einzusparen (JØRGENSEN et al., 2008; JAHN et al., 2010; WAGNER & JAHN, 2013; CHEN, 2014). Dies konnte auch in weiteren eigenen Untersuchungen gezeigt werden, in denen multiresistente Sorten wirtschaftlich mit praxisüblichen Sorten konkurrieren konnten (KEHLENBECK & RAJMIS, 2018; KLOCKE, 2019). Multi-resistente Sorten in unterschiedlichen Qualitätssegmenten sind bereits heute am Markt verfügbar und können vom Landwirt genutzt werden (BUNDESSORTENAMT, 2019). Ihr Vorteil liegt darin, dass diese Sorten über gut wirksame Resistenzen gegenüber den wichtigsten pilzlichen Schaderregern verfügen. Noch ist ihr Anbauumfang gemessen an der Saatgutvermehrungsfläche gering, aber im Hinblick auf die abnehmende Anzahl verfügbarer Fungizide, wird die Sortenresistenz zukünftig weit mehr

Tab. 8. Fungizidkostenfreier Erlös (€/ha) und Standardabweichung (STDEV) für die Strategien GfP (Sorte JB Asano) und IPS (Sorte Julius) in den behandelten Varianten sowie deren Differenz (GfP HF minus IPS HF) in den sechs Jahren der Phase 3

Jahr	Fungizidkostenfreier Erlös und STDEV in €/ha		Differenz in €/ha
	GfP HF (JB Asano)	IPS HF (Julius)	
2014	1.550,37 (121,52)	1.523,73 (58,15)	26,64
2015	955,47 (356,55)	973,61 (235,94)	-18,14
2016	1.232,89 (132,67)	1.236,62 (183,70)	-3,73
2017	1.098,66 (193,43)	985,51 (193,42)	113,15
2018	673,90 (149,56)	610,55 (207,08)	63,35
2019	894,18 (182,01)	827,43 (157,83)	66,75
Mittel	1.067,58 (344,34)	1.026,24 (343,15)	41,34

Tab. 9. Paarweiser Vergleich der fungizidkostenfreien Erlöse (€/ha) der Jahre der Phase 3 zwischen den fungizidbehandelten Varianten (HF) der Pflanzenschutzstrategien GfP und IPS (Tukey-Kramer LSD, $\alpha = 0.05$)

Jahr	Geschätzte Mittelwertdifferenzen	Standardfehler	DF	t Value	Pr > t	Adj P
2014	26.6480	72.1825	207	0.37	0.7124	0.9828
2015	-18.1412	72.1825	207	-0.25	0.8018	0.9944
2016	-3.7329	72.1825	207	-0.05	0.9588	1.0000
2017	113.15	72.1825	207	1.57	0.1185	0.3995
2018	63.3564	72.1825	207	0.88	0.3811	0.8164
2019	66.7485	72.1825	207	0.92	0.3562	0.7917

in den Vordergrund rücken. Auch vor dem Hintergrund der Etablierung alternativer Produkte, wird bei dem jetzigen geringeren Wirkungsgrad dieser Alternativen (REISS & JØRGENSEN, 2017; MATZEN et al., 2019) die Sortenresistenz eine große Rolle spielen.

Fazit

Das Befallsgeschehen am Standort Dahnsdorf variierte in den letzten 23 Jahren stark, was sowohl auf die Resistenz der Sorten, aber auch auf die Jahreswitterung, den Befallsdruck und das örtliche Pathotypenspektrum zurückzuführen ist. Aus Sicht der pilzlichen Schaderreger wird die Sortenresistenz auch zukünftig in dem hier vorgestellten Dauerversuch ein wichtiges Werkzeug des integrierten Pflanzenschutzes sein. Der positive Effekt einer resistenten Sorte, zeigte sich nach Umstellung des Versuches in Phase 3 (ab 2014), der einen direkten Vergleich von Sorten mit unterschiedlich ausgeprägter Resistenz ermöglichte. Eine signifikante Unterscheidung der Pflanzenschutzstrategien GFP und IPS war aber auch so nicht möglich, was letztlich auch an der geringen multiplen Resistenzprägung der Sorte Julius lag. In Jahren mit hohem Gelbrostbefallsdruck konnten mit der resistenten Sorte Julius bis zum Jahr 2018 Fungizide eingespart werden, gegenüber Braunrost und Blattseptoria zeigte sie jedoch Schwächen und einen Befall, der Behandlungen zu Folge hatte. Der Fokus sollte zukünftig bei Betrachtung der pilzlichen Schaderreger in der IPS-Strategie noch stärker auf multiresistente Winterweizensorten gelegt werden, die auch ertraglich und qualitativ mit den häufig angebauten Hohertragsorten konkurrieren können (BUNDESSORTENAMT, 2019). Herbologische, entomologische und auch pflanzenbauliche Aspekte erfordern eine zusätzliche Berücksichtigung und Abstimmung. Nur durch die konsequente Nutzung des Sortenpotenzials wird es langfristig möglich sein, die Vorzüge des integrierten Pflanzenschutzes bezüglich der Kontrolle pilzlicher Schaderreger zum Tragen zu bringen und Erträge zu sichern.

Bei Betrachtung der momentan agrarpolitischen Entwicklungen auf EU- und auch Landesebene, ist die hier geprüfte und stetig weiterentwickelte IPS-Strategie somit durchaus empfehlenswert und leistet einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes und zur Festlegung und Erstellung der Sektor- und Kulturartenspezifischen Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes. Zur Integration dieser Ergebnisse auf betrieblicher Ebene bedarf es eines guten Wissenstransfers. National erfolgt dies z.B. durch die Implementierung der Erkenntnisse in Modellvorhaben wie den „Demonstrationsbetrieben integrierter Pflanzenschutz“ (HELBIG et al., 2019) und durch die Informationen der Pflanzenschutzdienste (KLINDT, 2020), aber auch auf europäischer Ebene wird intensiv daran gearbeitet, Lösungen für einen optimierten Transfer und eine Umsetzung des IPS in die Praxis zu finden (LAMICHHANE et al., 2018). Nur wenn dies gelingt, wird es möglich sein, die auf den Ackerbau

zukommenden Veränderungen zukünftig erfolgreich zu bewältigen.

Erklärung zu Interessenskonflikten


Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literatur


- AMI-MARKTBILANZ, 2019: Daten, Fakten, Entwicklungen. Deutschland, EU, Welt/AMI, Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH. Getreide, Ölsaaten, Futtermittel. Agrarmarkt-Informations-Gesellschaft (Hrsg.). Bonn. 178 p.
- ANONYM, 2009: Richtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden. Amtsblatt der Europäischen Union.
- BBA, 2006: Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz Jahresbericht 2005. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Heft 134, 47 p.
- BEER, E., H. BODENDÖRFER, J. BRUNS, R. HEITFUß, 1996: Überregionale Überprüfung einer Bekämpfungsschwelle für Blatt- und Ährenkrankheiten an unterschiedlich widerstandsfähigen Winterweizensorten in bundesweit durchgeführten Feldversuchen. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 48 (10), 201-208.
- BEER, E., 1991: Bekämpfungsschwelle für Blatt- und Ährenkrankheiten bei unterschiedlich widerstandsfähigen Sorten als Elemente des Integrierten Pflanzenschutzes in verschiedenen Winterweizenanbausystemen. Gesunde Pflanzen 43 (10), 323-332.
- BUNDESSORTENAMT, 1997-2019: Beschreibende Sortenliste für Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen und Hackfrüchte. Hannover, Strothe Verlag.
- BURTH, U., S. GUTSCHE, B. FREIER, D. ROßBERG, 2002: Das notwendige Maß bei der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 54 (8), 297-303.
- CHEN, X.M., 2014: Integration of cultivar resistance and fungicide application for control of wheat stripe rust. Canadian Journal of Plant Pathology 36, 311-326.
- DACHBRODT-SAAAYDEH, S., J. SELLMANN, J. STRASSEMAYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, S. KRENGEL, H. KEHLENBECK, 2018: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016 – Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 194, 130 p.
- FLATH, K., B. RODEMANN, T. MIEDANER, 2014: Gelbrost und kein Ende in Sicht. Land & Forst 39, 16-19.
- FREIER, B., U. BURTH, 2006: Leitbild integrierter Pflanzenschutz und sein langer Weg in die Praxis. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 58 (8), 214-215.
- FREIER, B., U. BURTH, B. PALLUTT, 1995: Schärfere Konturen für den integrierten Pflanzenschutz. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 47, 287-290.
- FREIER, B., H. TRILTSCH, U. PLUSCHKELL, M. JAHN, B. PALLUTT, K. LINDNER, U. BURTH, 1997: Integrierter Pflanzenschutz im Ackerbau: ein Leitfaden für Landwirte. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Braunschweig, 1-84. Saphir-Verlag Ribbesbüttel.
- FREIER, B., B. PALLUTT, 2010: Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der Insektizidanwendungen in Winterweizen im Dauerfeldversuch Dahnsdorf. Journal für Kulturpflanzen 62 (9), 326-330, DOI: 10.5073/JfK.2010.09.02.
- FREIER, B., A. GUMMERT, B. KLOCKE, J. SCHWARZ, S. DACHBRODT-SAAAYDEH, S. KRENGEL, H. KEHLENBECK, 2018: Integrierter Pflanzenschutz. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Eds.), 7. Auflage, 1-52.
- HELBIG, J., A. GUMMERT, M. PAAP, H. KEHLENBECK, 2019: Möglichkeiten und Grenzen des integrierten Pflanzenschutzes – Erfahrungen aus dem Modellvorhaben „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz“ im Ackerbau. Getreide-Magazin 25 (2), 12-15.
- HOVMÖLLER, M.S., S. WALTER, R.A. BAYLES, A. HUBBARD, K. FLATH, N. SOMMERFELDT, M. LECONTE, P. CZEMBOR, J. RODRIGUEZ-ALGABA, T. THACH, J.G. HANSEN, P. LASSEN, A.F. JUSTESEN, S. ALI, C. DE VALLAVIELLE-POPE, 2015: Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the centre of diversity in the near Himalayan region. Plant Pathology 65, 402-411.

- JAHN, M., C. WAGNER, E. MOLL, B. PALLUTT, 2010: Auftreten und Bekämpfung von Krankheiten in Wintergetreide in einem Dauerfeldversuch auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf. *Journal für Kulturpflanzen* **62** (7), 248-258, DOI: 10.5073/JfK.2010.07.03.
- JØRGENSEN, L.N., G.C. NIELSEN, J.E. ØRUM, J.E. JENSEN, H.O. PINNSCHMIDT, 2008: Integrating disease control in winter wheat – optimizing fungicide input. *Outlooks on Pest Management* **19**, 206-213.
- KEHLENBECK, H., S. RAJMIS, 2018: Was bleibt unterm Strich. *DLG Mitteilungen* **18** (2), 56-57.
- KLINDT, A., 2020: Neue Wirkstoffe nicht gleich verheizen! *DLG-Mitteilungen* **2**, 42-46.
- KLOCKE, B., 2019: Das Potenzial resistenter Sorten. *Getreide-Magazin* **25** (2), 18-21.
- LUTZE, G., E. KLUGE, 1989: Bekämpfungsrichtwerte als Entscheidungshilfen zur gezielten Bekämpfung von Getreidekrankheiten. *Nachrichtenblatt Pflanzenschutz DDR* **43**, 153-156.
- LAMICHHANE, J.R., B. AKBAS, B.C. ANDREASEN, W. ARENDSE, S. BLUEMEL, S. DACHBRODT-SAAAYDEH, A. FUCHS, J.-P. JANSSEN, J. KISS, P. KUDSK, J.-C. MALET, A. MASCI, A. DE LA PEÑA, A.S.T. WILLENER, A. MESSÉAN, 2018: A call for stakeholders to boost integrated pest management in Europe: a vision based on the three-year European research area network project. *International Journal of Pest Management*, **64** (4), 352-358.
- MATZEN, N., T.M. HEICK, L.N. JØRGENSEN, 2019: Control of powdery mildew (*Blumeria graminis* ssp.) in cereals by Serenade Aso (*Bacillus amyloliquefaciens* (former subtilis) strain QST 713). *Biological control* **139**, 104067.
- PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER, E. MOLL, 2005: Wann reicht die Hälfte? Langzeitversuche zur Einschätzung des Reduktionspotenzials von Pflanzenschutzmitteln. In: *Forschungsreport Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz. Zeitschrift des Senats der Bundesforschungsanstalten*. [Berlin] 2005 (2) p.18-20.
- PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER, E. MOLL, 2010: Dauerfeldversuche auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautbekämpfung. *Journal für Kulturpflanzen* **62** (7), 238-247, DOI: 10.5073/JfK.2010.07.02.
- PFLANZENSCHUTZDIENSTE DER LÄNDER BERLIN, BRANDENBURG, SACHSEN, SACHSEN-ANHALT UND THÜRINGEN (Eds.), 2017, 2018, 2020: *Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen*.
- REISS, A., L.N. JØRGENSEN, 2017: Biological control of yellow rust of wheat (*Puccinia striiformis*) with Serenade Aso (*Bacillus subtilis* strain QST713). *Crop Protection* **3**, 1-8.
- ROßBERG, D., 2020: Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis (PAPA). URL: <https://papa.julius-kuehn.de>, Access: 04.04.2020.
- ROßBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN, M. WICK, 2002: NEPTUN 2000 – Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt*, Heft **98**, 27 p., Anhang.
- SCHWARZ, J., T. FEIKE, B. FREIER, M. JAHN, H. KEHLENBECK, B. KLOCKE, S. KÜHNE, B. PALLUTT, J. SALTZMANN, C. WAGNER, U. WITTCHEN, 2015: 20 Jahre Dauerfeldversuche am Standort Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts. *Journal für Kulturpflanzen* **67** (12), 389-403.
- STERN, V.M., R.F. SMITH, R. BOSCH, K.S. HAGEN, 1959: The integrated control concept. *Hilgardia* **29**, 81-101.
- WAGNER, C., M. JAHN, 2013: Sortenresistenz und Fungizidanwendung in Winterweizen – Versuchsergebnisse aus Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen. *Landwirtschaft ohne Pflug*, 26-31.
- WAGNER, C., B. KLOCKE, J. SCHWARZ, 2016: Auftreten und Bekämpfung von Gelbrost (*Puccinia striiformis*) in Winterweizen und Wintertriticale in den Jahren 2008 bis 2015 am Versuchsstandort Dahnsdorf (Brandenburg). *Julius Kühn-Archiv*, **454**, 387-388.
- WITTCHEN, U., J. SCHWARZ, B. PALLUTT, 2015: Versuchsfeld Dahnsdorf – 15 Jahre agrarmeteorologische Messungen, Teil 1: Allgemeines, *Journal für Kulturpflanzen*, **67** (5), 153-161, DOI: 10.5073/JfK.2015.05.01.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Sandra Krengel-Horney, Jörn Strassemeyer, Jürgen Schwarz

Dauerfeldversuche zum notwendigen Maß bei der Anwendung von Insektiziden im Winterraps – Was lernen wir aus 25 Jahren?

Long-term field trials on the necessary need of insecticide applications in winter oil seed rape – Lessons learned from 25 years of experiments

279

Zusammenfassung

In Dauerfeldversuchen am Standort Dahnsdorf (Fläming) werden seit 1995 Untersuchungen zur Abschätzung des notwendigen Maßes der Anwendung von Insektiziden in Winterraps und zur Entwicklung nachhaltiger Insektizidstrategien durchgeführt. Im Rahmen des Versuches „Strategievergleich – umweltverträglicher Pflanzenschutz“ wurden in mittlerweile drei Versuchsphasen jeweils zwei verschiedene Insektizidstrategien in Winterraps gegenübergestellt, die sich in der Intensität unterschieden. Ziel des vorliegenden Beitrages war es, die Insektizidintensitäten sowie deren Ertrags- und Umwelteffekte vor dem Hintergrund des jährlichen Befallsdruckes vergleichend zu betrachten und zu diskutieren. Die Auswertung zeigte, dass in 21 von 22 betrachteten Versuchsjahren Insektizidmaßnahmen im Winterraps notwendig waren, deren Intensität aufgrund der Witterung und des Befallsdruckes stark schwankte. Es konnte gezeigt werden, dass eine Reduzierung der Behandlungsintensität um 50% bis 60% nur in der ersten Phase des Versuches signifikante Ertragseinbußen zur Folge hatte. Der Vergleich der Umweltwirkungen mit dem Risikoindikatormodell SYNOPSIS-GIS ergab, dass die Reduktion der Behandlungsintensität in vielen Jahren mit einer Verringerung des Umweltrisikos einherging. Allerdings zeigten einzelne Fälle, dass dies nicht immer zutraf und auch die Mittel- bzw. Wirkstoffwahl von entscheidender Bedeutung waren. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Nutzung verfügbarer Entscheidungshilfen im Pflanzenschutz wie Befallskontrollen, Warndienstmel-

dungen, Prognosemodelle und Erfolgskontrollen, um die Anwendung von Insektiziden in Winterraps auf das notwendige Maß zu reduzieren.

Stichwörter: Winterraps, Insektizide, tierische Schaderreger, Ertrag, Umweltwirkung

Abstract

In long-term field trials at the Dahnsdorf (Fläming) site, investigations have been carried out since 1995 to estimate the necessary level of insecticide application in winter oil seed rape (WOSR) and to develop sustainable insecticide strategies. Within the scope of the trial “Comparison of strategies – environmentally sound crop protection”, two different insecticide strategies were compared in WOSR in three trial phases, each of which differed in intensity. The aim of this paper was to compare and discuss these insecticide intensities and their yield and environmental effects against the background of the annual infestation pressure. The evaluation showed that in 21 of 22 trial years considered, insecticide measures were necessary in WOSR, the intensity of which fluctuated considerably due to weather conditions and infestation pressure. It could be shown that a reduction of treatment intensity by 50% to 60% did result in significant yield losses only during the first trial phase. The comparison of the environmental impacts, calculated with the risk indicator model SYNOPSIS-GIS, showed that the reduction in treatment intensity was accompanied by a

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Sandra Krengel-Horney, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: sandra.krengel-horney@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

8. Juni 2020

reduction in environmental risk over many years. However, individual cases showed that this was not always true and that the choice of agent or active ingredient was also of decisive importance. The results underline the importance of using available decision support tools in crop protection such as infestation controls, warning service, forecasting models and success monitoring to reduce the use of insecticides in WOSR to the necessary need.

Key words: Winter oil seed rape, insecticides, pests, yield, environmental risk

Einleitung

Der Anbau von Winterraps wird vom Auftreten vieler tierischer Schaderreger begleitet, weshalb er eine der insektizidintensivsten Ackerbaukulturen in Deutschland darstellt. So betrug der durchschnittliche Insektizid-Behandlungsindex (2007 bis 2016) der Betriebe im „Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“ 2,7 (DACHBRODT-SAAAYDEH et al., 2018). Der Wegfall von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (z.B. neonicotinoide Beizen) und einen oftmals hohen Schaderregerdruck erschweren den Winterrapsanbau seit geraumer Zeit. Zusätzliche Herausforderungen bestehen durch zunehmende Schaderregerresistenzen, sich verschlechternde klimatische Rahmenbedingungen und die steigende öffentliche Wahrnehmung möglicher Umweltwirkungen von Insektiziden. Das zeigen nicht zuletzt die sinkenden Anbauzahlen. Wurden im Jahr 2017 deutschlandweit noch auf gut 1,3 Mio. ha Winterraps angebaut, sank der Anbauumfang bis 2019 auf nur noch rund 850.000 ha (DESTATIS, 2020).

Die Dauerfeldversuche zu Pflanzenschutzstrategien, welche seit 1995 auf dem Versuchsfeld des Julius Kühn-Instituts in Dahnendorf (Fläming) durchgeführt werden, tragen zur Abschätzung des notwendigen Maßes der Anwendung von Insektiziden in Winterraps und der Entwicklung nachhaltiger Insektizidstrategien bei. Im Rahmen des Versuches „Strategievergleich – umweltverträglicher Pflanzenschutz“ wurden in mittlerweile drei Versuchsphasen jeweils zwei verschieden intensive Pflanzenschutzstrategien gegenübergestellt (SCHWARZ et al., 2015). Glied dieser Fruchtfolge war stets auch Winterraps. Das Auftreten tierischer Schaderreger wurde seit Beginn der Untersuchungen mittels regelmäßiger Kontrollen unter Verwendung standardisierter Methoden überwacht und auch zur Entscheidung über Pflanzenschutzmittelanwendungen herangezogen (FREIER & PALLUTT, 2010).

Das am Julius Kühn-Institut entwickelte Indikatormodell SYNOPSIS ermöglicht die Bewertung von Umwelt Risiken durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (STRASSEMAYER & GOLLA, 2018). SYNOPSIS kann in den drei Anwendungsmodi SYNOPSIS-WEB, SYNOPSIS-Trend und SYNOPSIS-GIS verwendet werden. Für eine webbasierte Bewertung von Pflanzenschutzstrategien und Minderungsmaßnahmen auf Schlagebene wurde der Modus

SYNOPSIS-WEB (STRASSEMAYER et al., 2017, 2020) entwickelt und wird in Nordrhein-Westfalen derzeit im Beratungssystem des Pflanzenschutzdienstes etabliert (STRASSEMAYER et al., 2020). Im Rahmen des Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) wird SYNOPSIS-Trend für Trendberechnungen des Risikos von Pflanzenschutzmitteln basierend auf Absatzzahlen angewandt. Dabei berechnet SYNOPSIS aquatische und terrestrische Risikoindizes für einzelne Indikationen unter Annahmen von „worst-case“-Umweltszenarien und aggregiert diese auf nationaler Ebene (GUTSCHE & STRASSEMAYER, 2007). Außerdem wird SYNOPSIS-GIS eingesetzt, um das Umweltrisiko von Pflanzenschutzstrategien für definierte Raumeinheiten unter Berücksichtigung der räumlich spezifischen Umweltbedingungen zu analysieren (STRASSEMAYER & GUTSCHE, 2010; DACHBRODT-SAAAYDEH et al., 2018).

Die nachfolgenden Auswertungen des Umweltrisikos von Insektizid-Anwendungen im Winterraps auf den Versuchsflächen in Dahnendorf wurden mit dem Anwendungsmodus SYNOPSIS-GIS durchgeführt.

Ziel des vorliegenden Beitrages war es, die Intensitäten der Insektizidanwendungen sowie deren Ertrags- und Umwelteffekte in den drei Versuchsphasen vor dem Hintergrund des jährlichen Befallsdruckes an diesem Standort vergleichend zu betrachten und zu diskutieren. Dabei sollten die Fragen beantwortet werden, ob eine Reduktion der Insektizidintensität mit geringeren Umweltwirkungen einhergeht und welche Ertragseffekte sie verursacht.

Material & Methoden

Versuchsdesign

Grundlage der vorliegenden Untersuchung ist der Dauer Versuch „Strategievergleich – umweltverträglicher Pflanzenschutz“, der seit 1995 auf dem Versuchsfeld Dahnendorf durchgeführt wird. Ausführliche Beschreibungen zum Versuchsstandort und der Versuchsmethodik finden sich unter PALLUTT et al. (2010) und SCHWARZ et al. (2015). Der ausgewertete Versuch umfasste die in Tab. 1 aufgeführten Pflanzenschutzstrategien.

Für die vorliegende Analyse wurden die Ergebnisse der Versuchsjahre 1998 bis 2019 verwendet, so dass stets 10 bzw. 20 (ab 2008) Wiederholungen zur Verfügung standen. Die angebauten Winterrapsorten waren regional-typisch. Seit 2015 werden in der Strategie „Allgemeine Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes“ (GfP) die Sorte Avatar und in der Strategie „Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes“ (IPS), in der wenn möglich resistente Sorten als integrierte, vorbeugende Maßnahme zum Einsatz kommen sollen, die Sorte Bender angebaut. Bender zeichnet sich laut Züchter durch Spätsaatverträglichkeit, Standfestigkeit, höchste Phomaresistenz und Virustoleranz aus (ANONYMUS, 2020). Von 2007 bis 2013 wurde insektizidgebeiztes Saatgut ausgebracht, wobei es dahingehend innerhalb eines Anbaujahres keine Unterschiede zwischen den Strategien gab. Es wurden ausschließlich die Ergebnisse der Pflanzenschutz-

Tab. 1. Versuchsphasen und Pflanzenschutzstrategien „Strategievergleich – umweltverträglicher Pflanzenschutz“.

Phase I	
Zeitraum (Erntejahr)	1996 – 2007
Pflanzenschutzstrategie	Situationsbezogene Dosierung (100%) 50% der situationsbezogenen Dosierung (50%)
Phase II	
Zeitraum (Erntejahr)	2008 – 2013
Pflanzenschutzstrategie	Gute fachliche Praxis ^a (GfP) Integrierter Pflanzenschutz ^b (IPS)
Phase III	
Zeitraum (Erntejahr)	2014 – aktuell
Pflanzenschutzstrategie	Allgemeine Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes ^c (GfP) Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes ^d (IPS)

^a Praxisübliche Pflanzenschutzmittel, Einbeziehung Hinweise Pflanzenschutzdienst, regionsübliche Sortenauswahl nach Ertrag und Qualität, ^b Nutzung von Schwellenwerten, situationsbezogene Mittelwahl und Dosierung, Expertenwissen, Prognosen und Modelle, regionsangepasste Sortenauswahl nach Resistenz unter Berücksichtigung von Ertrag und Qualität, ^c Siehe Phase II „IPS“, ^d Siehe Phase II IPS, zusätzliche Nutzung vorbeugender Pflanzenschutzverfahren (z.B. Sorte) und verfügbarer, nichtchemischer Alternativen

variante HI betrachtet, in der Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler zur Anwendung kamen. Die Insektizidanwendungen variierten entsprechend der Pflanzenschutzstrategien. Herbizid- und Fungizidanwendungen erfolgten nach Bedarf und waren in den Strategien nicht immer identisch. Bei den Herbiziden wurde in der Strategie „Situationsbezogene Dosierung“ (100%) bzw. GfP eher eine Einmalbehandlung im Herbst angestrebt. In der Strategie „50% der situationsbezogenen Dosierung“ (50%) bzw. IPS wurde auch mit fallweisen Splitting bzw. reduzierten Aufwandmengen im Herbst gearbeitet. Dabei konnte es ab und an zu einer Nachbehandlung im Frühjahr kommen, wobei der Behandlungsindex der Herbizide hier im Mittel der Jahre geringer war.

Schaderregerkontrolle

Es fanden regelmäßige Befallskontrollen aller relevanten tierischen Schaderreger unter Verwendung standardisierter Methoden (Gelbschalen und Pflanzenbonituren) und anerkannter Bekämpfungsrichtwerte statt. Das Auftreten und das Schadmaß von Rapserrdflohen und Kohlfiegen werden erst seit dem Wegfall der insektiziden Beizen im Jahr 2014 mit Gelbschalen und Pflanzenbonituren regelmäßig überwacht. Die Erfassung des Befalls vom Kohlschotenrüssler wurde auf Grund der geringen Relevanz am Standort in den Jahren 2008 bis 2012 ausgesetzt. Die Bekämpfungsmaßnahmen wurden entsprechend der strategischen Ausrichtung des Pflanzenschutzes (Prüffaktor Pflanzenschutzstrategie) durchgeführt (siehe auch FREIER & PALLUTT, 2010).

Ertrags- und Pflanzenschutzdaten

Im Rahmen dieser Studie wurden die Ertragsdaten und Insektizidbehandlungen der beiden Pflanzenschutzstra-

tegien des oben beschriebenen Dauerfeldversuches innerhalb der drei Phasen vergleichend betrachtet. Im Falle der Ertragsauswertung wurden Versuchsfehler aus den Berechnungen herausgelassen. Die Varianten der Prüffaktors Bodenbearbeitung (wendend vs. nichtwendend), der 2008 in Phase II eingeführt wurde, wurden nicht gesondert analysiert, da die deskriptive Statistik keine wesentlichen Ertragsunterschiede ergab. Die statistische Auswertung der Ertragsunterschiede erfolgte mit Hilfe der Prozedur MIXED mit dem SIMULATE-Verfahren in SAS[®]9.4 Version M6 ($\alpha = 0,05$). Die Bewertung der Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendungen fand mit Hilfe des Behandlungsindex (BI) nach KUDSK (1989) und ANONYMUS (2008) statt. Ein BI von 1,0 entspricht dabei der Anwendung eines Pflanzenschutzmittels mit indikationspezifischer, maximal zugelassener Aufwandmenge auf ganzer Fläche. Auf die Berücksichtigung der Beizen wurde in diesem Artikel verzichtet, da in den Strategien innerhalb eines Anbaujahres stets gleiche Beizungen verwendet wurden und eine Zuordnung der verwendeten Beizmittel teilweise nicht zweifelsfrei möglich war.

Modellierung der Umweltwirkungen mittels SYNOPSIS

Die Methoden zur Berechnung des Umweltrisikos basieren auf dem Indikatormodell SYNOPSIS und wurden in STRASSEMAYER et al. (2017) und STRASSEMAYER & GOLLA (2018) ausführlich beschrieben. In SYNOPSIS werden die Risikoindizes als ETR-Werte (exposure toxicity ratios) dargestellt. Dieser Wert entspricht dem Quotienten der berechneten Exposition in der Umwelt und einer im Rahmen der Zulassung bestimmten Toxizitätskonzentration wie z.B. der Letalen Konzentration (LC50), der Letalen Rate (LR50) oder der No-Effect-Concentration (NOEC). SYNOPSIS berechnet Risikoindizes für Gewässerorganismen (akut und chronisch), für Nicht-Ziel-Arthropoden

im Saum und für Bodenorganismen und berücksichtigt dabei die Eintragspfade Abdrift, Run-off, Erosion und Drainage für die aquatischen Umweltrisiken und Abdrift und Verflüchtigung für die terrestrischen Risikoindizes.

Die Berechnung der Exposition von Gewässern mit Pflanzenschutzmitteln erfolgt über Modelle, die zum Teil bei der Zulassung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen eingesetzt werden. Die Abschätzung der Abdrift erfolgt mittels der FOCUS-Funktionen (FOCUS, 2001). Die Interzeption der Pflanzenschutzmitteln durch die Anbaukultur erfolgt nach dem in STRASSEMEYER et al. (2017) beschriebenen Modellansatz, die Drainage wird auf einem Metamodellansatz basierend auf MACRO (JARVIS et al., 1997) und mit den in STRASSEMEYER et al. (2017) beschriebenen Funktionen berechnet. Die Einträge durch Runoff und Erosion wurden mit dem in STRASSEMEYER et al. (2017) beschriebenen Modellansatz berechnet.

Bei der Risikoberechnung werden die Abstandsaufgaben zu Gewässern und terrestrischen Kleinstrukturen wie auch die Run-Off-Auflagen berücksichtigt. Für alle Pflanzenschutzmittelanwendungen wurden 50% abdriftreduzierende Technik angenommen. Der Versuchsfehler der Aufwandmengen in 2002 wurde für die Risikoanalyse auf die Regelaufwandmenge korrigiert.

Die berechneten ETR-Werte für Gewässerorganismen, Nicht-Ziel Arthropoden (NTA) und für Bodenorganismen werden entsprechend Tab. 2 in vier Risikoklassen eingeteilt. Für berechneten akuten ETR-Werte werden die LC50-Werte mit einem Sicherheitsfaktor von 10 multipliziert, um für chronische und akute Risikoindizes die gleiche Klasseneinteilung anwenden zu können.

Datenbasis für die Risikoanalyse

Eine wesentliche Datengrundlage für SYNOPSIS-GIS ist das Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) des Amtlich-Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) der Bundesländer (ADV, 2008, 2015). In der hier vorgestellten Analyse wurden alle Ackerbauflächen des Landkreises Potsdam-Mittelmark als Standort- bzw. Umweltszenario verwendet. Desweiteren wurde als Szenario-Annahme auf allen Flächen Winterraps angenommen. Dieser Ansatz wurde gewählt, um für die einzelnen Insektizid-Strategien eine hohe Variabilität an standortnahen Umweltszenarien zu erhalten ($n = 4.591$). Die Umweltparameter der einzelnen Ackerflächen werden hier als Basis für den Risikovergleich der Insektizid-Strategien genutzt. Eine räumliche Analyse des Umweltrisikos

für den Landkreis Potsdam-Mittelmark wird hier nicht durchgeführt.

Basierend auf diesen Feldblockgeometrien wurden die Lage und Nachbarschaften zu Nichtzielflächen und anderen relevanten Strukturelemente in der Agrarlandschaft (Gewässer, Wege, Gehölze etc.) ermittelt. Zusätzliche GIS-Prozeduren ermöglichten es, die digitale Bodenkarte BÜK1000N (BGR, 1996) für die Beschreibung der Bodenparameter sowie das digitale Geländemodell DGM-10 (BKG, 2016) für die Beschreibung des Reliefs der Landschaft mit den ATKIS-Daten zu verknüpfen. Im Ergebnis werden feldbezogene Bodenparameter und die Hangneigungen der einzelnen Flächen abgeleitet, wobei die Hangneigung auf einen Maximalwert von 20% begrenzt wurde. Der verwendete Klimadatensatz besteht aus den täglichen auf $1 \times 1 \text{ km}^2$ interpolierten Wetterdaten (Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Wind) des DWD (DWD, 2016) und liegt seit 1991 vor.

Die Information bezüglich der Wirkstoffgehalte und Anwendungsaufgaben der angewandten Pflanzenschutzmittel erfolgte über eine Verknüpfung mit der Online-Datenbank der zugelassenen Pflanzenschutzmitteln des BVL (BVL, 2019). Die toxikologischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe werden der online verfügbaren Pesticide Property Database (PPDB) entnommen (LEWIS et al., 2016).

Die beiden Mittel der Applikationen mit Notfallzulassung in 2009 (Pyrinex 25 CS) und 2007 (RELDAN 22) waren nicht in der Zulassungsdatenbank enthalten. Diese Mittel wurden entsprechend des Wirkstoffgehaltes manuell hinzugefügt. Hierfür lagen allerdings keine Informationen zu den Anwendungsbestimmungen vor. Daher wurde mit 50% Driftreduktion eine Abstandsaufgabe von 15 m angenommen.

Aggregation und statistische Auswertung der Risikoindizes

Die Risikoanalysen wurden für mehrere Einzelflächen mit unterschiedlichen Umwelt- und Standortparametern durchgeführt. Aus allen flächenspezifischen Rechnungen wird das 90. Perzentil bestimmt um eine worst-case Betrachtung des Umweltrisikos zu erhalten. Die Abschätzung der Risikoreduktion zwischen den beiden Varianten wird als prozentuale Veränderung des 90. Perzentils angegeben.

Die Unterschiede im Umweltrisiko zwischen den Strategien wurden mit der Funktion *Percentile-Test* im R-Paket *rcompanion* Version 2.3.25 statistisch analysiert.

Ergebnisse

Befall

Zu den am Versuchsstandort Dahnsdorf aufgetretenen Schaderregern zählten bislang vor allem der Rapserrdfloh (*Psylliodes chrysocephalus*), die Kleine Kohlfliege (*Delia radium*), die Rübsenblattwespe (*Athalia rosae*), der Gefleckte Kohltrüberrüssler (*Ceuthorhynchus pallidactylus*), der Große Rapsstängelrüssler (*Ceuthorhynchus*

Tab. 2. Risikoklassen der ETR-Werte.

Risikoklassen	Wertebereiche
sehr niedriges Risiko	ETR < 0,1
niedriges Risiko	0,1 < ETR < 1
mittleres Risiko	1 < ETR < 10
hohes Risiko	ETR > 10

napi), der Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*), der Kohlschotenrüssler (*Ceutorhynchus assimilis*) und die Kohlschotenmücke (*Dasineura brassicae*), wengleich nicht alle bekämpfungswürdig waren.

In Versuchsphase I (1998 bis 2007) traten die Stängelrüssler in allen Jahren in einem bekämpfungswürdigen Maß auf. Rapsglanzkäfer hatten dahingegen keine Bedeutung. Kohlschotenrüssler erreichten nur in den Jahren 1999 bis 2001 Abundanzen über dem Bekämpfungsrichtwert.

In Versuchsphase II (2008 bis 2013) führte insbesondere der Große Rapsstängelrüssler zur Notwendigkeit von Insektizidbehandlungen. Von 2010 bis 2013 zeigten die Auswertungen der Gelbschalenfänge Werte über dem Bekämpfungsrichtwert. Rapsglanzkäfer traten nur in 2010 und 2013 in bekämpfungsrelevanten Zahlen auf.

Versuchsphase III war durch einen teilweise sehr hohen Befallsdruck geprägt. Stängelrüssler waren in allen Jahren zu bekämpfen, wobei der Große Rapsstängelrüssler bis 2017 das Befallsgeschehen dominierte. Rapsglanzkäfer und Kohlschotenrüssler zeigten in 2018 und 2019 bekämpfungswürdige Werte. Der Rapserrdfloh und die Kohlflye, welche erst seit dem Wegfall der insektiziden Beizen regelmäßig am Standort erfasst werden, zeigten bislang keinen schadensrelevanten Befall.

Pflanzenschutzmittelapplikationen und Behandlungsintensität

Die in den Pflanzenschutzstrategien verwendeten Insektizide und die dazugehörigen jahresspezifischen Behandlungsindizes sind den Tabellen 3a bis 3c zu entnehmen. Nahezu alle Insektizidanwendungen fanden im Frühjahr, das heißt jahresabhängig und frühestens im Februar aber

spätestens im Mai, statt. Nur im Herbst 2014 wurde in der Strategie GfP eine Herbstbehandlung gegen Rapserrdföhe mit Shock DOWN durchgeführt. In Phase I betrug der durchschnittliche BI in der Strategie 100% 1,5 ($\pm 0,5$) und in der Strategie 50% 0,7 ($\pm 0,3$). Die Reduzierung der Intensität in Strategie 50% wurde durch eine Halbierung der Aufwandmengen oder dem Auslassen ganzer Anwendungen erzielt. In Phase II wurde in der Strategie GfP mit praxisüblicher Anwendung von Insektiziden ein BI von 2,2 ($\pm 0,4$) und in der Strategie IPS ebenfalls durch Reduktion von Aufwandmengen oder Auslassen von Behandlungen ein BI von 1,3 ($\pm 0,7$) erreicht. Der in Phase III höhere Befallsdruck spiegelt sich in den höchsten BIs wider. In Strategie GfP, in der seit 2014 die Insektizidanwendungen nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes erfolgten, betrug der mittlere BI 2,5 ($\pm 1,0$) und in der Strategie IPS, in welcher die Leitlinien zum integrierten Pflanzenschutz zur Umsetzung kommen, 1,5 ($\pm 0,8$). Reduzierte Aufwandmengen kamen nicht mehr zum Einsatz. Herauszustellen ist das Ausnahmejahr 2019, in dem in Strategie GfP befallsbedingt erstmalig vier Insektizidbehandlungen durchgeführt werden mussten (Tab. 3c).

Erträge

Die erfassten Erträge der insektizidbehandelten Versuchsvarianten (HI) der jeweiligen Pflanzenschutzstrategien sind in Abb. 1 dargestellt. Es zeigte sich, dass sich im Mittel aller Jahre und Wiederholungen in Phase I ein signifikanter ($p = 0,0228$) und in Phase II und III kein signifikanter Ertragsunterschied ($p = 0,2260$ bzw. $0,2569$) zwischen den Pflanzenschutzstrategien ergab. Dennoch waren die Erträge der Strategie 50% bzw. IPS in allen Phasen

Tab. 3a. Insektizide* (PSM) und Intensitäten (BI) in Phase I.

	100%			BI	50%			BI
	PSM 1	PSM 2	PSM 3		PSM 1	PSM 2	PSM 3	
1998	Fastac 10 EC			1,0	Fastac 10 EC			0,5
1999	FASTAC SC	FASTAC SC		2,0	FASTAC SC	FASTAC SC		1,0
2000	Trafo			1,0	Trafo			0,5
2001	FASTAC SC	FASTAC SC		2,0	FASTAC SC	FASTAC SC		1,0
2002	FASTAC SC	FASTAC SC		1,0		FASTAC SC		0,5
2003	FASTAC SC			1,0	FASTAC SC			0,5
2004	FASTAC SC	FASTAC SC		1,5	FASTAC SC			0,5
2005	FASTAC SC	FASTAC SC		1,5	FASTAC SC			0,5
2006	FASTAC SC			1,0	FASTAC SC			0,5
2007	Fastac SC Super Contact	RELDAN 22**	Biscaya	2,5	Fastac SC Super Contact	RELDAN 22**	Biscaya	1,0
			Mittelwert	1,5			Mittelwert	0,7
			Standardabweichung	0,5			Standardabweichung	0,3

* ohne Beizen, ** Notfallzulassung

Tab. 3b. Insektizide* (PSM) und Intensitäten (BI) in Phase II.

	GfP					IPS				
	PSM 1	PSM 2	PSM 3	PSM 4	BI	PSM 1	PSM 2	PSM 3	PSM 4	BI
2008	Fastac SC Super Contact	Biscaya			2,0		Biscaya			1,0
2009	Karate mit Zeon Technologie	Biscaya			2,0		Pyrinex 25 CS**			1,0
2010	Fastac SC Super Contact	Biscaya			2,0	Fastac SC Super Contact	Biscaya			1,8
2011	Fastac SC Super Contact	Plenum 50 WG	Biscaya		3,0	Fastac SC Super Contact	Plenum 50 WG			1,7
2012	Talstar 8 SC	Biscaya			2,0					0,0
2013	Trebon 30 EC	Biscaya			2,0	Trebon 30 EC	Biscaya			2,0
				Mittel- wert	2,2				Mittel- wert	1,3
				Standard- abweichung	0,4				Standard- abweichung	0,7

* ohne Beizen, ** Notfallzulassung

Tab. 3c. Insektizide* (PSM) und Intensitäten (BI) in Phase III.

	GfP					IPS				
	PSM 1	PSM 2	PSM 3	PSM 4	BI	PSM 1	PSM 2	PSM 3	PSM 4	BI
2014	Fastac SC	Biscaya			2,0	Fastac SC				1,0
2015	Shock DOWN**	Fastac SC	Biscaya		3,0		Fastac SC			1,0
2016	Fastac SC Super Contact	Biscaya			2,0	Fastac SC Super Contact				1,0
2017	Trebon 30 EC				1,0	Trebon 30 EC				1,0
2018	Trebon 30 EC	Biscaya	Karate Zeon		3,0	Trebon 30 EC	Biscaya			2,0
2019	Karate Zeon	Trebon 30 EC	Biscaya	Mavrik Vita	4,0	Karate Zeon		Biscaya	Mavrik Vita	3,0
				Mittel- wert	2,5				Mittel- wert	1,5
				Standard- abweichung	1,0				Standard- abweichung	0,8

* ohne Beizen, ** Herbstbehandlung

im Mittel etwas geringer als in den Praxisstrategien 100% bzw. GfP (Phase I: – 3,9 dt/ha, Phase II: – 2,4 dt/ha, Phase III: – 2,6 dt/ha). Die Erträge schwankten innerhalb der Jahre (zwischen den Wiederholungen) und zwischen den Jahren zum Teil stark. So wurde aufgrund der Witterung und des enormen Befallsdruckes im Jahr 2019 mit 8,7 dt/ha (Variante GfP) der geringste und im Jahr 2009 mit 70,6 dt/ha (Variante GfP) der höchste Ertrag erreicht. Insgesamt zeigten die Jahre 2004, 2008, 2009, 2012 und 2014 sehr gute Erträge (≥ 45 dt/ha). Die Jahre 2002, 2003,

2011, 2018 und 2019 gehen hingegen aufgrund schlechter Bedingungen – insbesondere zu trockener Witterung – mit besonders niedrigen Erträgen in die Statistik ein (≤ 25 dt/ha). Die Analyse der einzelnen Jahre ergab in 1999 ($p = 0,0004$), 2000 ($p = 0,0137$), 2001 ($p = 0,0013$), 2008 ($p = 0,0352$), 2012 ($p = 0,0336$), 2016 ($p = 0,0003$) sowie 2018 ($p = 0,0191$) in der Strategie 50% bzw. IPS signifikant geringere Erträge gegenüber der Strategie 100% bzw. GfP. Erwähnenswert ist auch, dass in Phase III (2014–2019) bislang stetig sinkende Erträge zu verzeichnen waren.

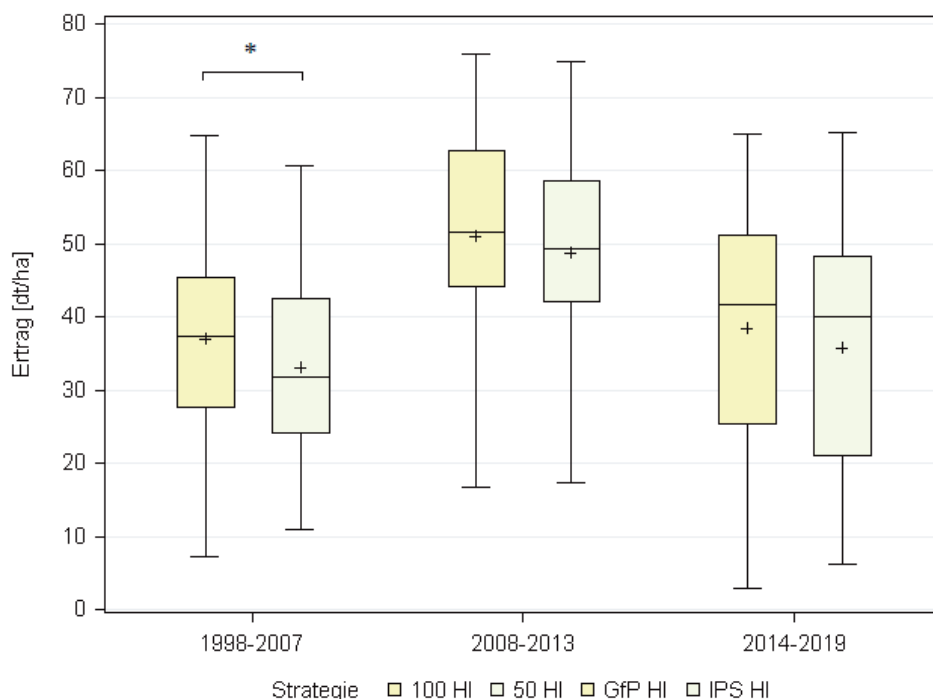


Abb. 1. Boxplots der Winterapserträge (dt/ha) der insektizidbehandelten Versuchsvarianten (HI) der Strategien 100% bzw. GfP und 50% bzw. IPS in den Versuchsphasen I (1998–2007), II (2008–2013) und III (2014–2019). Signifikante Unterschiede sind mit * gekennzeichnet ($\alpha = 0,05$).

Umweltwirkung (SYNOPSIS)

Die aquatischen Risikoindizes, sowohl chronisch als auch akut, liegen in allen Jahren überwiegend in der sehr niedrigen Risikoklasse ($ETR < 0,01$). Die Risikoindizes für Bodenorganismen liegen ebenfalls stets im sehr niedrigen Risikobereich. Dagegen zeigen die Risikoindizes für Nicht-Ziel Arthropoden (NTA) im Saum überwiegend mittlere bis hohe Risikowerte ($ETR > 1$) auf (Tab. 4). Ein klarer Trendverlauf über die Jahre konnte für keinen Risikoindex beobachtet werden. Allerdings weisen die Risikoindizes des akuten aquatischen Risikos in der Phase I etwas niedrigere Werte auf als in Phase II. Dies liegt unter anderem daran, dass in der Phase II deutlich mehr Wirkstoffe eingesetzt wurden, die unter ungünstigsten Standort-/Umweltbedingungen (> 90 . Perzentil) Werte in der mittleren Risikoklasse verursachen. In Phase I waren dies in der Strategie 50% nur alpha-Cypermethrin in Phase II dagegen alpha-Cypermethrin, Thiacloprid und Etofenprox.

Die sehr hohen Werte für die NTA werden durch den häufigen Einsatz von alpha-Cypermethrin verursacht, denn dieser Wirkstoff weist einen sehr niedrigen LR50-Wert für *Typhlodromus pyri* auf. In den Jahren in denen das Risiko für NTA niedrig war, wurde kein alpha-Cypermethrin angewandt, sondern andere Wirkstoffe wie z.B. lambda-Cyhalothrin (2000) oder Thiacloprid (Strategie IPS 2008).

Werden die Werte aus den einzelnen Jahren für die drei Phasen zusammengefasst, so ergibt sich ein ähnliches Bild (Tab. 5, Abb. 2). Die Risikoindizes des akuten aquatischen Risikos sind in der Phase II signifikant erhöht gegenüber Phase I ($p < 0,001$).

In allen drei Phasen liegen die Risikoindizes in den Strategien 50% bzw. IPS niedriger als in den Strategien

100% bzw. GfP. Diese Unterschiede sind für alle Risikoindizes in den drei Phasen signifikant ($p < 0,001$) mit Ausnahme des akuten Risikos für NTA in der Phase II und III ($p > 0,5$). Die Risikoreduktion zwischen den beiden Strategien ist in Phase I mit 52–76% je nach Risikoindex am größten. In Phase II liegt die Risikoreduktion in der IPS-Strategie zwischen 1% und 32%. Eine Ausnahme in dieser Phase stellt hier jedoch das akute aquatische Risiko im Jahr 2009 dar. In diesem Jahr wurde durch eine Notfallzulassung das Mittel Pyrinex 25 CS mit dem Wirkstoff Chlorpyrifos in Strategie IPS appliziert. Dennoch zeigt Chlorpyrifos sehr hohe akute aquatische Risikowerte aufgrund der sensiblen Toxizitätswerte für Fische ($LC_{50} = 0,00014$ mg/l), aquatische Invertebraten ($LC_{50} = 0,0001$ mg/l) und Sedimentorganismen ($LC_{50} = 0,000024$ mg/l). Die Risikoindizes für Bodenorganismen und NTA verhalten sich in diesem Jahr ähnlich und es konnten Zunahmen des Risikos in der Strategie IPS von $> 800\%$ gegenüber der GfP-Strategie beobachtet werden (Tab. 4). Die Risikoreduktion zwischen den beiden Strategien IPS und GfP fiel in Phase II daher deutlich geringer aus. In Phase III war das akute und chronische aquatische Risiko deutlich reduziert (81% bzw. 43%). Das terrestrische Risiko war in dieser Phase dagegen kaum reduziert (1% bzw. 5%).

Diskussion

Befall und Behandlungsintensität

Die Ergebnisse des hier ausgewerteten Dauerfeldversuches am Standort Dahnsdorf (Fläming) zeigen, dass in 21 von 22 Versuchsjahren (1998–2019) der Befallsdruck mit

Tab. 4. Risikoindizes der Insektizid-Anwendungen zusammengefasst für Phase I bis III. Es werden jeweils der 90. Perzentilwert der feldspezifischen Einzelrechnungen (n = 4.591) und die Risikoreduktion (Red.) zwischen den Szenarien angegeben. NTA: Nicht-Ziel Arthropoden. Die ETR-Werte werden entsprechend den Risikoklassen in Tab. 2 eingefärbt. Grau 50%: hoch; Grau 40%: mittel; Grau 20%: niedrig; Grau 10%: sehr niedrig.

Jahr	Phase	Variante	90. Perzentile des aquatischen Risikos				90. Perzentile des terrestrischen Risikos			
			akut		chronisch		NTA (akut)		Regenwurm (chronisch)	
			ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)
1998	I	50%	0,0014		0,0021		4,181		0,0033	
1998	I	100%	0,0029	52	0,0042	50	8,362	50	0,0067	51
1999	I	50%	0,0117		0,038		6,2925		0,0048	
1999	I	100%	0,0234	50	0,076	50	12,585	50	0,0097	51
2000	I	50%	0,0001		0,0008		0,0496		0,002	
2000	I	100%	0,0001	0	0,0016	50	0,0992	50	0,004	50
2001	I	50%	0,0163		0,0363		6,3485		0,0048	
2001	I	100%	0,0327	50	0,0726	50	12,697	50	0,0095	49
2002	I	50%	0,0139		0,0188		4,7097		0,0038	
2002	I	100%	0,0354	61	0,0495	62	7,8245	40	0,0084	55
2003	I	50%	0,0005		0,0006		4,5342		0,0039	
2003	I	100%	0,001	50	0,0013	54	9,0685	50	0,0079	51
2004	I	50%	0,0044		0,005		4,6285		0,0042	
2004	I	100%	0,0216	80	0,0638	92	11,6583	60	0,0112	63
2005	I	50%	0,0069		0,0096		4,5316		0,0034	
2005	I	100%	0,037	81	0,0531	82	11,9126	62	0,0098	65
2006	I	50%	0,0005		0,0009		3,9846		0,0023	
2006	I	100%	0,001	50	0,0017	47	7,9692	50	0,0045	49
2007	I	50%	0,0263		0,0424		4,2786		0,0043	
2007	I	100%	0,1423	82	0,5377	92	8,5572	50	0,0084	93
2008	II	IPS	0,2318		0,0647		0,0002		0,00	
2008	II	GfP	0,2334	1	0,0658	2	9,3741	100	0,0081	100
2009	II	IPS	2,2132	<-800	0,0524		7,1065		0	<-800
2009	II	GfP	0,232		0,0649	19	0,1019	<-800	0,0061	
2010	II	IPS	0,2022		0,069		9,3982		0,0098	
2010	II	GfP	0,2412	16	0,0787	12	9,3988	0	0,0098	0
2011	II	IPS	0,0055		0,0084		8,3213		0,0118	
2011	II	GfP	0,2342	98	0,0672	88	8,3631	0	0,0137	14
2012	II	IPS	0		0		0		0	
2012	II	GfP	0,2315	100	0,3423	100	0,1511	100	0,0199	100
2013	II	IPS	0,2328		0,0656		0,1006		0,0114	
2013	II	GfP	0,2328	0	0,0656	0	0,1006	0	0,0114	0
2014	III	IPS	0,0137		0,0188		9,4605		0,0123	
2014	III	GfP	0,2365	94	0,0707	73	9,4622	0	0,0123	0
2015	III	IPS	0,0073		0,0133		9,9011		0,0117	
2015	III	GfP	0,2348	97	0,0668	80	10,0079	1	0,0263	56
2016	III	IPS	0,005		0,0105		9,3371		0,0081	
2016	III	GfP	0,2362	98	0,0711	85	9,3372	0	0,0081	0
2017	III	IPS	0,042		0,115		0,152		0,0278	
2017	III	GfP	0,042	0	0,115	0	0,152	0	0,0278	0
2018	III	IPS	0,2395		0,3208		0,3219		0,042	
2018	III	GfP	0,2395	0	0,321	0	0,3859	17	0,046	9
2019	III	IPS	0,2327		0,0651		0,1063		0,0144	
2019	III	GfP	0,2335	0	0,1407	54	0,2254	53	0,0493	71

Tab. 5. Risikoindizes der Insektizid-Anwendungen zusammengefasst für Phase I bis III. Es werden jeweils der 90. Perzentilwert der feldspezifischen Einzelrechnungen und die Risikoreduktion (Red.) zwischen den Szenarien angegeben. NTA: Nicht-Ziel Arthropoden. Die ETR-Werte werden entsprechend den Risikoklassen in Tab. 2 eingefärbt. Grau 50%: hoch; Grau 40%: mittel; Grau 20%: niedrig; Grau 10%: sehr niedrig.

Jahr	Phase	Szenario	n	90. Perzentile des aquatischen Risikos				90. Perzentile des terrestrischen Risikos			
				akut		chronisch		NTA (akut)		Regenwurm (chronisch)	
				ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)
1998–2007	I	50%	45910	0,0089		0,0154		4,9101		0,0023	
1998–2007	I	100%	45910	0,0249	64	0,0654	76	9,9748	52	0,0059	61
2008–2013	II	IPS	27546	0,2306		0,0647		7,1181		0,0055	
2008–2013	II	GfP	27546	0,2333	1	0,0724	11	7,6473	7	0,0081	32
2014–2019	III	IPS	27546	0,0444		0,0651		8,088		0,0117	
2014–2019	III	GfP	27546	0,2352	81	0,115	43	8,136	1	0,0123	5

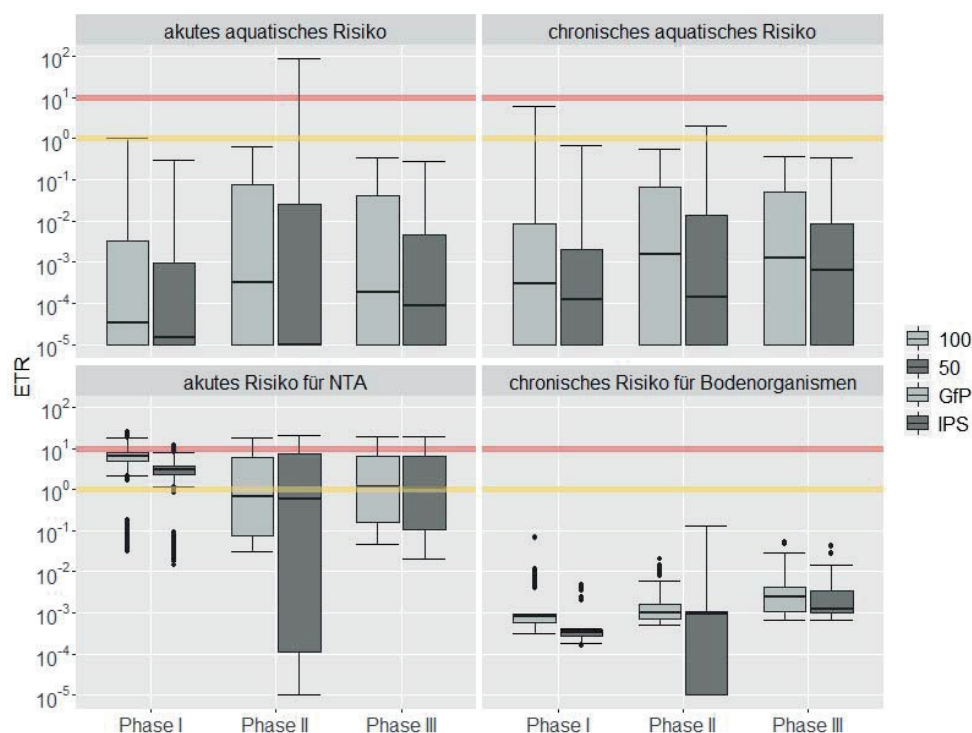


Abb. 2. Boxplots der logarithmisch dargestellten Risikoindizes (ETR-Werte) je Phase (n = 45.910 (I), n = 27.546 (II und III)). Die rote und gelbe Linie stellen die Schwellenwerte für die hohe und mittlere Risikoklasse dar.

tierischen Schaderregern in Winterraps zur Notwendigkeit von Insektizidanwendungen führte, wenngleich es erhebliche jährliche Schwankungen im Befallsdruck gab. Der Vergleich zu den Insektizid-Behandlungsindizes des Netzes Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz (DACHBRODT-SAAAYDEH et al., 2018) ergibt, dass die mittlere Intensität der Insektizidanwendungen der Strategien 50% (Phase I) und IPS (Phase II & III) immer unter dem ostdeutschen Durch-

schnitt lagen. In den Phasen I und II waren die mittleren Insektizidintensitäten auch in den praxisvergleichbaren Strategien (100% und GfP) leicht unter dem Durchschnitt der Großregion Ost. Eine Ursache kann sein, dass das exakte Wissen zum Befallsgeschehen am Standort die Bekämpfungsentscheidungen beeinflusste und einige praxisübliche Behandlungen (z.B. Blütenapplikation) unterlassen wurden. Darüber hinaus variieren der Befallsdruck und das

notwendige Maß schlagbezogen. So beeinflussen standörtliche Gegebenheiten wie das Anbauverfahren und die regionale Anbaukonzentration das Befallsgeschehen maßgeblich. In den Jahren 2014 bis 2016 lagen die Behandlungsindizes der praxisvergleichbaren Strategie GFP jedoch im Bereich der Intensitäten der am Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz beteiligten Betriebe der Großregion Ost.

Die Witterung der Jahre 2018 und 2019 prägte den Pflanzenschutz im Winterraps in besonderer Weise. Aufgrund der Dürre im Herbst 2018 kam es wie in weiten Teilen Deutschlands auch in der Umgebung des Versuchsfeldes zur verspäteten Aussaat und zum Umbruch vieler Winterrapsbestände. In vielen Fällen wurde gänzlich auf die Rapsaussaat verzichtet. Aufgrund dieser Gegebenheiten war im Erntejahr 2019 im Umfeld des Versuchsfeldes Dahnsdorf fast kein Raps vorhanden. Daraus resultierte ein extrem starker Schädlingsdruck im Frühjahr 2019, der sich in der hohen Insektizidintensität widerspiegelte und neben der witterungsbedingten physiologischen Knospenwelke auch ertragswirksam war (siehe auch KRENGEL & SCHWARZ, 2020).

Die hohen Standardabweichungen der Behandlungsintensitäten verdeutlichen die enormen jährlichen Schwankungen im Befallsdruck und dem notwendigen Maß an Insektizidanwendungen. Die strikte Reduzierung der Aufwandmengen um 50% bzw. das Weglassen von Applikationen in Phase I sowie die strikte Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der Strategie IPS in Phase II und III führte über die Jahre stets zu einer erheblichen Reduktion der Insektizid-BIs gegenüber der jeweiligen Praxisstrategie (Phase I: – 50%, Phase II: – 59%, Phase III: – 60%).

Ertragswirkung

Die reduzierte Intensität von Insektizidanwendungen verursachte an diesem Standort, der die Verhältnisse des mitteldeutschen Trockengebietes repräsentiert, im Mittel der Jahre in den drei Versuchsphasen geringfügige Ertragsverluste, diese waren jedoch nur in Phase I signifikant. Diese Erkenntnis unterstreicht die Notwendigkeit der langjährigen Durchführung pflanzenschutzbezogener Untersuchungen. Die Betrachtungen einzelner oder weniger Jahre würde wahrscheinlich zu anderen Schlussfolgerungen führen. Für spezifische Fragestellungen ermöglichen Dauerversuche aber auch eine Auswertung der Jahre nach bestimmten Gesichtspunkten (z.B. Befallsdruck), wie beispielweise von JAHN et al. (2010) vorlegt wurde. Hinsichtlich des erreichten Ertragsniveaus muss beachtet werden, dass dieses auf Versuchsfeldern in vielen Fällen über dem der Praxis liegt (SCHWARZ et al., 2018) und ein Einfluss durch die strategiebezogene Anwendung der Herbizide nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Dennoch stimmt der Trend sinkender Winterrapsenerträge seit 2014 mit dem in ganz Deutschland überein (BMEL, 2020). Es ist anzunehmen, dass die bereits beschriebenen Witterungseffekte die Effekte der Insektizidstrategien auf die Erträge zum Teil überlagern. Zu den genannten Aspekten wäre eine gesonderte mehrfaktorielle Analyse interessant und wichtig.

Umweltwirkungen

Im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung sollte neben der Betrachtung der Ertragseffekte stehen, ob eine Reduktion der Behandlungsintensität auch zu einer Reduktion der Umweltrisiken führt. Die Frage war also, ob die Reduktion des BI mit ökologischen Vorteilen einhergeht. Dazu wurde das terrestrische und aquatische Risiko der Insektizidstrategien mit Hilfe von SYNOPSIS berechnet und gegenübergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass in den meisten Jahren die 50%-Strategie bzw. die IPS-Strategie eine deutliche Reduktion des Umweltrisikos aufwies. Die Reduktion fiel je nach Mittelwahl, Aufwandmengen und klimatischen Bedingungen unterschiedlich aus. Es wurden aber auch in einigen Jahren keine Unterschiede festgestellt oder wie in 2009 sogar eine Zunahme des Umweltrisikos beobachtet. Dies zeigt, dass eine Reduktion der Behandlungsintensität nicht unbedingt eine Reduktion des Umweltrisikos nach sich zieht, sondern auch die Mittel- bzw. Wirkstoffwahl von entscheidender Bedeutung ist. Im Jahr 2009 wurde trotz einer Halbierung des BI das Umweltrisiko deutlich erhöht. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass es wichtig ist, den Landwirten Werkzeuge bereitzustellen die es ihnen ermöglichen die Umweltwirkung bei der Mittelwahl zu berücksichtigen. Ein gutes Beispiel hierfür ist das webbasierte Inkatormodell H₂Ot-Spotmanager NRW (STRASSEMAYER et al., 2020).

Es ist davon auszugehen, dass bei einer Einbeziehung der insektiziden Beizen, die hier nicht betrachtet werden konnten, das absolute Umweltrisiko in Phase I und II steigen würde. Da in beiden Strategien stets innerhalb eines Versuchsjahres gleich gebeiztes Saatgut verwendet wurde, bleiben die hier vordergründig betrachteten Strategieunterschiede davon aber unbeeinflusst.

Die vorgelegte Studie zeigt, dass am den untersuchten Standort eine Reduktion der Insektizidintensität im Winterraps um bis zu 60% nur geringfügige Ertragsrückgänge aber zum Teil beachtliche gesenkte Umweltrisiken verursachte. Das Abwägen zwischen Ertragssicherung und potentieller Umweltwirkung der Insektizidmaßnahmen ist aber stets ein schmaler Grat und wird in der Praxis nicht zuletzt dadurch erschwert, dass die Bekämpfungsentscheidungen in der Regel kurzfristig und vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit erfolgen müssen. So zeigten FREIER & PALLUTT (2010) in ihrer Analyse, dass auf Grund der vergleichsweise geringen Insektizidkosten auch ein moderater Ertragsverlust zu einer signifikanten Senkung des insektizidkostenfreien Mehrerlöses führen kann. Umso bedeutender sind gezielte Entscheidungshilfen und integrierte Pflanzenschutzverfahren, die auf fundierten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen. Aufgrund der jährlich variierenden Anbaubedingungen (insbesondere Witterung, und Befall) lassen sich nur aus Dauerfeldversuchen, wie dem hier ausgewerteten, valide Schlussfolgerungen über die langfristigen Wirkungen von Pflanzenschutzstrategien ableiten. Im Bereich der Bekämpfung tierischer Schaderreger fehlt es im Ackerbau oftmals noch an wirksamen vorbeugenden (z.B. resistente Sorten) und nichtchemischen Pflanzenschutz-

verfahren. Aus diesem Grund ist die Nutzung aller verfügbaren Entscheidungshilfen wie regelmäßige Befallskontrollen, Warndienstmeldungen, Prognosemodelle und entsprechende Erfolgskontrollen von hoher Bedeutung, um die Anwendung chemisch-synthetischer Insektizide auf das notwendige Maß zu beschränken und deren Umweltwirkungen zu minimieren.


Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte bestehen.


Literatur

- AdV, 2008: Dokumentation zu Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok), ATKIS-Katalogwerke; ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM; Version 6.0. Stand: 11.04.2008. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland.
- AdV, 2015: Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok); Erläuterungen zum ATKIS® Basis-DLM; Version 6.0.1; Stand: 25.08.2015 Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV).
- ANONYMUS, 2008: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bonn, BMELV.
- ANONYMUS, 2020: Rapool, Sorteninformation. Zugriff: 05.04.2020. URL: <https://www.rapool.de/index.cfm/action/varieties/c/1/var/62.html>.
- BGR, 1996: Digitale Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland. BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- BKG, 2016: Digitales Basis-Landschaftsmodell (AAA Modellierung). Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG).
- BMEL, 2020: Statistisches Jahrbuch, Tabellen, Zugriff: 05.04.2020. URL: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/tabellen-kapitel-c-hii-und-hiii-des-statistischen-jahrbuchs/>.
- BVL, 2019: Online data base on plant protection products. The Federal Office for Consumer Protection and Food Safety (BVL).
- DACHBRODT-SAAAYDEH, S., J. SELLMANN, J. STRASSEMAYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, S. KRENGEL, H. KEHLENBECK, 2018: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016, Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 194, DOI: 10.5073/berjki.2018.194.000.
- DESTATIS, 2020: Deutsches Statistisches Bundesamt, Feldfrüchte und Grünland, Tabellen, Anbauflächen, Hektarerträge und Erntemengen ausgewählter Anbaukulturen im Zeitvergleich. Zugriff: 05.04.2020. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/liste-feldfruechte-zeitreihe.html>.
- DWD, 2016: Climate Data Center, URL: <ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/>.
- FOCUS, 2001: FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC. Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SANCO/4802/2001-rev.2., 245 p.
- FREIER, B., B. PALLUTT, 2010: Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der Insektizidanwendungen im Winterraps im Dauerfeldversuch Dahnsdorf. Journal für Kulturpflanzen, 62 (9), 326-330, DOI: 10.5073/JfK.2010.09.02.
- FREIER, B., J. SELLMANN, J. STRASSEMAYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, S. DACHBRODT-SAAAYDEH, H. KEHLENBECK, W. ZORNACH, 2016: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz – Jahresbericht 2014 – Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2014, Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Julius Kühn-Institut.
- GUTSCHE, V., J. STRASSEMAYER, 2007: SYNOPSIS – ein Modell zur Bewertung des Umwelt-Risiko-potentials von chemischen Pflanzenschutzmitteln. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 59, 197-210.
- JAHN, M., C. WAGNER, E. MOLL, B. PALLUTT, 2010: Auftreten und Bekämpfung von Krankheiten in Wintergetreide in einem Dauerfeldversuch auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf. Journal für Kulturpflanzen 62 (7), 248-258, DOI: 10.5073/JfK.2010.07.03.
- JARVIS, N.J., J.M. HOLLIS, P.H. NICHOLLS, T. MAYR, S.P. EVANS, 1997: MACRO-DB: a decision-support tool for assessing pesticide fate and mobility in soils. Environmental Modelling & Software 12, 251-265.
- KRENGEL, S., J. SCHWARZ, 2020: Auswirkungen der Witterung in 2018 und 2019 auf den Schaderregerbefall im Winterraps am Standort Dahnsdorf (Fläming). Deutsche Pflanzenschutztagung, Göttingen. Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv (submitted).
- KUDSK, P., 1989: Experiences with reduced herbicide doses in Denmark and the development of the concept of factor-adjusted doses. Proceedings, Brighton Crop Protection Conference, Weeds, 545-554.
- LEWIS, K.A., J. TZILIVAKIS, D.J. WARNER, A. GREEN, 2016: An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment 22, 1050-1064.
- PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER, E. MOLL, 2010: Dauerfeldversuche auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautbekämpfung. Journal für Kulturpflanzen 62 (7), 238-247, DOI: 10.5073/JfK.2010.07.02.
- SCHWARZ, J., T. FEIKE, B. FREIER, M. JAHN, H. KEHLENBECK, B. KLOCKE, S. KÜHNE, B. PALLUTT, J. SALTZMANN, C. WAGNER, U. WITTCHEN, 2015: 20 Jahre Dauerfeldversuche am Standort Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts. Journal für Kulturpflanzen 67 (12), 389-403, DOI: 10.5073/JfK.2015.12.01.
- SCHWARZ, J., B. KLOCKE, C. WAGNER, S. KRENGEL, 2018: Untersuchungen zum notwendigen Maß bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen in den Jahren 2004 bis 2016, Gesunde Pflanzen 70 (3), 119-127.
- STRASSEMAYER, J., D. DAEHMLOW, A.R. DOMINIC, S. LORENZ, B. GOLLA, 2017: SYNOPSIS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. Crop Protection, Amsterdam, Elsevier.
- STRASSEMAYER, J., A.R. DOMINIC, B. GOLLA, A. CLAUS-KRUPP, D. DAEHMLOW, 2020: H₂Ot-Spot-Manager NRW – Ein Web-basiertes Analyse- und Beratungswerkzeug für die zielgerichtete und risikomindernde Pflanzenschutzberatung. In: FREITAG, U.; FUCHSKITOWSKI, F.; ABECKER, A.; HOSENFELD, F. (Hrsg.): Umweltinformationssysteme – Wie verändert die Digitalisierung unsere Gesellschaft? – Tagungsband des 27. Workshops des Arbeitskreises „Umweltinformationssysteme“ der Fachgruppe „Informatik im Umweltschutz“ der Gesellschaft für Informatik (GI) 2020, Heidelberg, Springer Nature, (im Druck).
- STRASSEMAYER, J., B. GOLLA, 2018: Berechnung des Umwelttrisikos der Pflanzenschutzmittelanwendungen in den Vergleichsbetrieben mittels SYNOPSIS. Gesunde Pflanze 70 (3), 155–166.
- STRASSEMAYER, J., V. GUTSCHE, 2010: The approach of the German pesticide risk indicator SYNOPSIS in frame of the National Action Plan for Sustainable Use of Pesticides (www.oecd.org/agriculture/sustainable-agriculture/44806454.pdf). Proceedings of the SESSION 2 PART II – SOIL, PESTICIDE AND NUTRIENT INDICATORS, 2010, Leysin, Switzerland.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Stefan Kühne, Jürgen Schwarz, Britta Friedrich, Clara Boeninger, Susann Pophal, Sophie Steitmann, Isabella Karpinski

Pflanzenschutzkonzepte für den Ökologischen Landbau weiterentwickeln – aus der Forschung für die Praxis

Developing plant protection concepts for organic farming
– results from research for practitioners

290

Zusammenfassung

Die Ausweitung des Ökologischen Landbaus erfordert umfangreiche und praxisnahe Forschungen zur Ertragsstabilität. Dabei spielt die Gesunderhaltung der Pflanze und die Qualität der Ernteprodukte eine wichtige Rolle. In dem Beitrag wird die Bedeutung der Dauerfeldversuche des Julius Kühn-Institutes in Dahnsdorf (Land Brandenburg) für diese Aufgabe dargestellt. Die Maßnahmen zur Unkrautkontrolle, zur Kartoffelkäferbekämpfung (*Leptinotarsa decemlineata* Say) und zur Kupferminimierung bei der Krautfäuleregulierung (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary) wurden im System einer für den Ökolandbau typischen Fruchtfolge und nach EU-Ökorichtlinien geprüft. Die Vorteile einer Bewirtschaftung im Ökolandbau auf die Bodenaktivität, Häufigkeit und Artenvielfalt der Insektengemeinschaften allgemein, konnte auch unter kleinräumigen Bedingungen eines Versuchsfeldes bestätigt werden.

Stichwörter: Ökologischer Landbau, Unkrautbekämpfung, Kartoffelkäfer, Kupferminimierung, Biodiversität

Summary

The expansion of organic farming requires intensive and applied research on yield stability. Plant health of the plant and the quality of the harvested products play an

important role here. The article describes the importance of the long-term field trials of the Julius Kühn-Institut in Dahnsdorf (State of Brandenburg) for this task. The measures for weed control, for potato beetle control (*Leptinotarsa decemlineata* Say) and for copper minimization in the regulation of late blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary) were tested in the system of a crop rotation typical for organic farming and according to EU organic guidelines. The benefits of organic farming on soil activity, abundance and biodiversity of insect communities in general could be confirmed even under small-scale conditions of an experimental field.

Key words: Organic farming, weed control, potato beetle, copper minimization, biodiversity

Einleitung

In ihrer Nachhaltigkeitsstrategie hat sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt, den Anteil der ökologischen Anbaufläche bis zum Jahr 2030 auf 20% der gesamten landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland auszuweiten (BMEL, 2019 Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau). Die Dauerfeldversuche des Julius Kühn-Institutes in Dahnsdorf untersuchen schon seit 1995 die Regulierungsstrategien für wichtige Schadorganismen und Unkräuter mit dem Ziel, die Erträge im Ökolandbau zu stabilisieren. Dabei ist es von großer Bedeutung, die Regulierungsmaßnahmen im System zu prüfen, das

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Prof. Dr. Stefan Kühne, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: stefan.kuehne@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

2. Juni 2020

heißt in einer für den Ökologischen Landbau typischen Fruchtfolge (ohne Verwendung synthetischer Düngemittel und Pflanzenschutzmittel). Aus diesem Grund sind die Prüfflächen bereits bei ihrer Anlage im Jahr 1995 von einer staatlich zugelassenen Öko-Kontrollstelle nach EU-Ökorichtlinien zertifiziert worden (EU-Kontrollnr.: DE-BE-070-4829A).

Der vollständige Verzicht auf Herbizide zwingt den Landwirt, das Bewirtschaftungssystem in seiner Gesamtheit zu betrachten. Neben der direkten mechanischen Unkrautkontrolle mit Pflug, Hacke und Striegel, spielt der zweijährige Luzerne-Kleeergrasanbau, mit seiner bis zu dreimaligen Schnittfolge pro Jahr, bei der Regulierung ausdauernder Ackerunkräuter wie Distel und Ampfer eine wichtige Rolle. Durch die Fähigkeit der Luftstickstoffbindung der Knöllchenbakterien an den Wurzeln von Klee und Luzerne wird dem Boden gleichzeitig Stickstoff zugeführt. Das Luzerne-Kleeergras wird im Stall verfüttert und in Form von Stallmist zur Düngung der Kartoffeln auf das Feld zurückgebracht. Die hier zum Ökologischen Landbau vorgestellten Ergebnisse wurden alle in der seit 2014 genutzten Fruchtfolge des Dauerfeldversuchs Ökologischer Landbau erzielt: Sommergerste (mit Luzerne-Kleeergras-Untersaat) – Luzerne-Kleeergras – Luzerne-Kleeergras – Winterweizen – Kartoffeln – Winterroggen mit einer Düngung von Stallmist zu Kartoffeln (200 dt/ha). Der Versuch ist als eine vollständig randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen und einer Parzellengröße von 25 × 34 m angelegt. Die Wirkstoffe der in allen Jahren geprüften Pflanzenschutzmittel entsprachen der EU-Öko-Verordnung.

Seit dem Erntejahr 2014 werden die Wirkungsgrade des Striegels in Winterweizen untersucht. Weiterhin war im Kartoffelanbau, neben dem Kartoffelkäfer, die Kraut- und Knollenfäule Gegenstand der Versuche. Insbesondere die hier erzielten Ergebnisse der Kartoffelkäferregulierung mit Neem- und *Bacillus thuringiensis tenebrionis* Präparaten fanden schnell Eingang in die Praxis des ökologischen Kartoffelanbaus (FiBL, 2010).

Im Versuchsjahr 2019 haben wir die Thematik der Biodiversität auf unseren Versuchsflächen erstmalig bearbeitet. Für das Insektensterben allgemein, das Bienensterben im Besonderen und den Rückgang der Biodiversität wird oftmals der Pflanzenschutz verantwortlich gemacht. Das Julius Kühn-Institut hat 2017 dazu einen Bericht veröffentlicht, in dem mehr als 100 Publikationen aus Deutschland und anderen Ländern ausgewertet wurden (FREIER et al., 2017). Der Bericht hält fest, dass jegliche Art landwirtschaftlicher Nutzung (konventionell und ökologisch) die biologische Vielfalt beeinflusst. Dabei ist der Pflanzenschutz mit seinen vorbeugenden und direkten, nichtchemischen und chemischen Maßnahmen ein Faktor von vielen und kann nicht losgelöst vom gesamten Bewirtschaftungssystem gesehen werden. Die Bearbeitung dieser Thematik auf einem Versuchsfeld mit kleinräumigen Bewirtschaftungsunterschieden ist herausfordernd, und die Betrachtung der klassischen Indikatorarten wie z.B. Agrarvögel schließen sich dabei aus. Aber auch andere mobile Insektenarten wie z.B.

Laufkäfer erscheinen hier weniger geeignet. Deshalb haben wir uns auf entomologische Fangmethoden konzentriert, mit denen kleinräumig die Biomasse, die Anzahl und Vielfalt von Insekten (Keschernfang, Bodenphotoelektor) sowie die Bodenaktivität (bait sticks) in unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Weizenanbausystemen beschrieben werden kann. Als Vergleichsgrundlage dienten jeweils vier Wiederholungen des Weizenanbaus nach den allgemeinen Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes (IPS) und der Ökologische Landbau (Öko). In der Tab. 1 werden beide Anbausysteme hinsichtlich der Fruchtfolge seit 2014, des Aufwands an Betriebsmitteln (Pflanzenschutz- und Düngemittel), der mechanischen Unkrautregulierung sowie der Erträge und des Erlöses aus den Weizenanbaufrüchten miteinander verglichen.

Über die gesamte Fruchtfolge und Jahre betrachtet, wurden der Öko-Variante nur 100 kg Stickstoff pro Hektar zu Kartoffeln in Form von Festmist zugeführt. Sie stammen aus der Verfütterung des Luzerne-Kleeergrases in der simulierten Tierhaltung. In der konventionellen IPS-Variante wurden über die sechs Jahre insgesamt 662 kg Stickstoff pro Hektar in Form synthetischer Düngemittel verabreicht, die maßgeblich zu den höheren Erträgen beigetragen haben. Die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln war im Ökologischen Landbau nur in Kartoffeln gegen Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*, 1 Anwendung) und die Krautfäule (*Phytophthora infestans*, 4 Anwendungen) möglich. Demgegenüber erfolgten in der konventionellen IPS-Variante insgesamt 19 Pflanzenschutzmittelanwendungen bei Überschreitung von Bekämpfungsschwellen. Damit wird deutlich, dass es sich hier um zwei unterschiedlich intensive Bewirtschaftungssysteme handelt, wobei die integrierte Variante (IPS) mit einer weiten Fruchtfolge und einer moderaten, dem Standort angepassten Düngung eher mit einem extensiv wirtschaftenden, konventionellen Praxisbetrieb vergleichbar ist.

Die folgenden vier kurzen Beiträge sollen einen Einblick in die aktuellen Versuchsfragen zum Ökologischen Landbau geben, die auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf in den letzten Jahren bearbeitet wurden.

Wirkungsgrad des Striegels im Ökologischen Landbau auf schluffigem Boden verbessern

Die Unkrautregulierung kann durch direkte Maßnahmen wie Hacken und Striegeln erfolgen, jedoch sollte auch die Fruchtfolge, als indirekte Maßnahme, auf eine möglichst gute Unkrautunterdrückung ausgelegt sein. Der Wirkungsgrad der mechanischen Bekämpfung hängt von mehreren Faktoren ab, wie der Größe der Unkräuter und der Bodenbeschaffenheit bei Durchführung der Unkrautkontrolle.

Seit dem Erntejahr 2014 werden im Rahmen der Untersuchungen die Wirkungsgrade des Striegels in Winterweizen auf dem JKI-Versuchsfeld Dahnsdorf untersucht.

Tab. 1a. Zusammenfassung ackerbaulicher Maßnahmen der Fruchtfolge von 2014–2019 unter Angabe des Behandlungsindex (BI), der Behandlungshäufigkeit (BH), der Betriebsmittelkosten und Arbeiterledigungskosten (AEK) sowie der Direkt- und AEK-freien Leistung (DAL) für den Winterweizenanbau.* Verkaufspreis (2017) in €/dt nach ZINKE (2018) (Öko).

Summary of arable measures in crop rotation from 2014–2019, indicating the treatment index (BI), treatment frequency (BH), input and labour costs (AEK) and direct and AEK-free benefit (DAL) for winter wheat cultivation. * Sales price (2017) in €/dt ZINKE (2018) (Öko).

Öko	Fruchtfolge	Herbizid	Fungizid	Insektizid	Wachst.-Regler	Mech. Unkr-Regul.	Düngung Kg N	Ertrag
Jahr		BI (BH)	BI (BH)	BI (BH)	BI (BH)		organ.	dt/ha
2014	Kart.	–	0,67 (4)	1 (1)	–	3	100	393
2015	WR	–	–	–	–	–	–	48
2016	SG	–	–	–	–	–	–	39
2017	LKG1	–	–	–	–	–	–	137 (TM)
2018	LKG2	–	–	–	–	–	–	36 (TM)
2019	WW	–	–	–	–	–	–	18
	Direktkosten Saatgut	–	–	–	–	–	–	Erlös: 756 €/ha
	204,26 €/ha Incl. AEK							(Preis Weizen: 42 €/dt)*
Summe		0	0,67 (4)	1 (1)	0	3	100	DAL für WW 2019: 551,74 €/ha

Tab. 1b. Zusammenfassung ackerbaulicher Maßnahmen der Fruchtfolge von 2014–2019 unter Angabe des Behandlungsindex (BI), der Behandlungshäufigkeit (BH), der Betriebsmittelkosten und Arbeiterledigungskosten (AEK) sowie der Direkt- und AEK-freien Leistung (DAL) für den Winterweizenanbau.* Verkaufspreis (2017) in €/dt nach BMEL (2019) (IPS).

Summary of arable measures in crop rotation from 2014–2019, indicating the treatment index (BI), treatment frequency (BH), input and labour costs (AEK) and direct and AEK-free benefit (DAL) for winter wheat cultivation. * Sales price (2017) in €/dt BMEL (2019) (IPS).

IPS	Fruchtfolge	Herbizid	Fungizid	Insektizid	Wachst.-Regler	Mech. Unkr-Regul.	Düngung Kg N	Ertrag
Jahr		BI (BH)	BI (BH)	BI (BH)	BI (BH)		mineral.	dt/ha
2014	WR	1,0 (1)	2,52 (2)	–	0,4 (1)	–	118	85,5
2015	Mais	1,8 (2)	1,63 (2)	–	–	–	145	130 (TM)
2016	Erbse	1,3 (1)	–	–	–	–	–	54
2017	WTri	0,8 (1)	1,63 (2)	–	–	–	99	75,3
2018	WRa	0,9 (1)	–	3,0 (3)	0,9 (2)	–	160	23
2019	WW	1,0 (1)	1,0 (1)	0,7 (1)	–	–	140	52
	Direktkosten Saatgut	45,17 €/ha Incl. AEK	67,17 €/ha Incl. AEK	18,15 €/ha Incl. AEK	–	–	131,84 €/ha Incl. AEK	Erlös: 766,48 €/ha
	182,26 €/ha Incl. AEK							(Preis: 14,74 €/dt)*
Summe		6,8 (7)	5,15 (5)	3,7 (4)	1,3 (3)	–	662	DAL für WW 2019: 321,89 €/ha

Dabei wurden vier unterschiedliche Striegelvarianten geprüft (Tab. 2). Vor dem Einsatz des Striegels wurden die Unkräuter nach Anzahl und Art erfasst. Das Striegeln fand im zeitigen Frühjahr statt, je nach Befahrbarkeit und Bodenabtrocnung. Nach dem Striegeln und Einsetzen der Wirkung wurde der Deckungsgrad (%) der überlebenden Unkräuter für jede Art bestimmt. In Tabelle 2 werden die Mittelwerte des Unkrautdeckungsgrades der Jahre 2014 bis 2019 als Summe aller Unkräuter jeweils für die einzelnen Striegelvarianten dargestellt. Bei der

Anzahl der Arten wurden zwischen den vier unterschiedlichen Varianten nur geringfügige Unterschiede festgestellt. Dies gilt sowohl vor als auch nach dem Striegeln.

Betrachtet man den Deckungsgrad der unbehandelten Kontrolle (1.), so fällt auf, dass dieser mit rund 3,6% im Mittel als eher gering anzusehen ist. Ein Grund ist sicher die gute Stellung des Winterweizens nach zweijährigem Luzerne-Kleegrass mit Schnittnutzung. Durch den Einsatz des Striegels konnte im Mittel ein um ca. 1,2% geringerer Unkrautdeckungsgrad erreicht werden. Die

Tab. 2. Mittelwerte und Standardabweichung des Unkrautdeckungsgrades der Jahre 2014 bis 2019 als Summe aller Unkräuter, jeweils für die einzelnen Striegelvarianten im ökologischen Winterweizenanbau.*Mean values and standard deviation of weed coverage for the years 2014 to 2019 as the sum of all weeds, in each harrow variants in organic winter wheat cultivation.*

Variante	Mittelwert in %	Standardabweichung
1. Verzicht auf Striegeln (unbehandelte Kontrolle, UK)	3,64	± 0,78
2. zweimaliges Striegeln	2,39	± 0,45
3. dreimaliges Striegeln	2,61	± 0,95
4. zweimaliges Striegeln und ca. 10 Tage später erneut zweimaliges Striegeln	2,47	± 0,64

Unterschiede zwischen den drei Striegelvarianten sind marginal. Somit ist unter diesen Bedingungen das zweimalige Striegeln, auch aus ökonomischer Sicht, zu bevorzugen.

Der schluffige Boden in Dahnsdorf weist im Frühjahr leider wenig loses Material zur Verschüttung und damit Bekämpfung der Unkräuter auf. Auf anderen Böden, Sand- bzw. Tonböden, sind im allgemeinen höhere Wirkungsgrade und teilweise auch Differenzierungen zwischen den Striegelvarianten zu erwarten.

Kartoffelkäferregulierung im Ökolandbau unter Bedingungen der eingeschränkten Verfügbarkeit biologischer Pflanzenschutzmittelwirkstoffe

Das Julius Kühn-Institut hat von 2005 bis 2008 die Regulierung des Kartoffelkäfers im Ökologischen Landbau mit Hilfe biologischer Pflanzenschutzmittel auf dem JKI-Versuchsfeld in Dahnsdorf erprobt. Die Ergebnisse sind in die Handlungsempfehlungen für den Ökolandbau eingeflossen und waren bis 2019 gültig (FiBL, 2010). Zu den wichtigsten Ergebnissen gehörte die zeitlich versetzte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln mit dem Wirkstoff des tropischen Neembraumes (NeemAzal-T/S) und des Bakterienpräparates *Bacillus thuringiensis tenebrionis* (*B.t.t.*; Novodor FC), mit denen Wirkungsgrade von über 80% erzielt werden können. Auch die einmalige Anwendung von Spi-

nosad (SpinTor) wurde als erfolgreiche Bekämpfungsstrategie bisher empfohlen. Hier ist jedoch zu beachten, dass Spinosad durch die deutschen Anbauverbände aufgrund der Einordnung der Bienengefährlichkeit (B1) verboten ist. Deshalb darf es nur in Betrieben, die nach EU-Ökorichtlinien wirtschaften, angewendet werden. Mit dem Widerruf der EU-Wirkstoffzulassung von *B.t.t.*, auf Antrag des Zulassungsinhabers am 30. April 2019 (Aufbrauchfrist bis zum 30. Oktober 2020), hat sich eine neue Situation für die deutschen Anbauverbände ergeben. Zukünftig darf nur noch NeemAzal-T/S angewendet werden. Für eine nachhaltige Resistenzstrategie ist die Anwendung nur eines Wirkstoffes aber nicht ausreichend, weshalb 2019 auf den Versuchsflächen des JKI in Dahnsdorf sowohl die Wirksamkeit der einmaligen Anwendung der Pflanzenschutzmittel SpinTor und NeemAzal-T/S überprüft als auch erstmalig die Flüssiganwendung von Kieselgur in Kombination mit Sonnenblumenöl im Freiland getestet wurde. Bisherige Ergebnisse zur Regulierung des Rapsglanzkäfers (*Brassicoglyphes aeneus*) mit Kieselgur und Sonnenblumenöl oder Gesteinsmehlen (Kaolin) zeigten positive Ergebnisse, die auf einer repellenten Wirkung basieren und deren Übertragbarkeit auf den Kartoffelkäfer überprüft werden sollten. Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der vollständig randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen.

Eine einmalige Behandlung mit SpinTor zeigt weiterhin eine hohe Wirksamkeit von über 80% gegen die Käfer

Tab. 3. Varianten der Pflanzenschutzmittelanwendungen zur Kartoffelkäferregulierung 2019. Behandlungstermine, Wirkungsgrad (%), basierend auf der Fläche unter der Befallskurve (FUBK), * signifikant zur unbehandelten Kontrolle (UK), Mann-Whitney Rank Sum Test ($P < 0,001$) und Kosten der Anwendung (€/ha) basierend auf KTBL (2015).*Pesticide applications for control of Colorado potato beetle 2019. Application dates, efficiency (%), based on area under the disease-progress curve (AUDPC), * significant to untreated control (UK), Mann-Whitney Rank Sum Test ($P < 0.001$) and cost of application (€/ha) based on KTBL (2015).*

Variante	1. Behandlung 17.06.2019	2. Behandlung 21.06.2019	Wirkungsgrad zur UK (%) (FUBK)	Kosten/ Anwendung €/ha
1. unbeh. Kontrolle (UK)	–	–	–	–
2. NeemAzal T/S	2,5 l/ha	–	65 *	113,50
3. SpinTor	0,05 l/ha	–	82 *	22,00
4. Kieselgur + Sonnenblumenöl + Wetcit (Netzmittel 0,2%)	15 kg/ha + 12 l/ha	15 kg/ha + 12 l/ha	negativ (n.s.)	noch nicht verfügbar

erlarven im L1- und L2-Stadium. Auch die NeemAzal-T/S Behandlung zeigt noch eine ausreichende Wirksamkeit von 65% gegenüber der unbehandelten Kontrolle. Leider war die zweimalige Behandlung mit Kieselgur und Sonnenblumenöl nicht wirksam. Aufgrund der im Vergleich zum Rapsglanzkäfer großen Körperoberfläche konnte sich wahrscheinlich kein ausreichender repellenter Effekt durch die Anhaftungen von Kieselgur am Käfer einstellen. Zukünftig muss die Suche nach alternativen Wirkstoffen, die mit den Ökolandbau-Richtlinien kompatibel sein müssen, fortgeführt werden, um eine schnelle Resistenzbildung der Kartoffelkäfer zu vermeiden.

Halbe Kupferaufwandmenge im ökologischen Kartoffelanbau – Möglichkeiten und Grenzen

Der Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel ist nicht nur im Ökolandbau umstritten. Für kupferhaltige Pflanzenschutzmittel müssen deshalb weiterhin Ersatz- und Reduktionsstrategien geprüft werden. Im Rahmen des EU-Projektes CO-FREE (Projektdauer 2012–2016) wurden auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf alternative Kupferpräparate auf ihre Wirksamkeit gegenüber der Krautfäule im Kartoffelanbau überprüft (SCHMITT, 2016). Auch hier zeigte sich, dass ein völliger Verzicht auf kupferhaltige Pflanzenschutzmittel im Ökolandbau noch nicht möglich ist. Im Versuchsjahr 2017 wurden darüber hinaus vier weitere Varianten in Dahnsdorf in einer vollrandomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen untersucht:

- 1: unbehandelte Kontrolle (UK),
- 2: Cuprozin progress 6 Anwendungen je 500 g Cu/ha (3,0 kg Reinkupfer/ha gesamt),
- 3: Cuprozin progress 6 Anwendungen je 250 g Cu/ha (1,5 kg Reinkupfer/ha gesamt),

4: Cuprozin progress 6 Anwendungen je 250 g Cu/ha (1,5 kg Reinkupfer/ha gesamt) + 2H13V8 (Zusatz Mikroorganismus).

Der kupfertolerante Mikroorganismus in der Variante 4 sollte aufgrund der Besiedlung der Blattoberfläche einen Befall durch die Krautfäule erschweren. Die Boniturauswertung auf Grundlage der Berechnung der Fläche unter der Befallskurve (FUBK, JEGER & VILJANEN-ROLLINSON, 2001) zeigte einen signifikant geringeren Blattflächenbefall in allen Fungizidvarianten (Var. 2–4). Durch die Anwendung der vollen Kupferaufwandmenge (3 kg/ha) konnte die 60%- Marke befallener Blattfläche um 8 Tage im Vergleich zur UK hinausgezögert werden, durch die Halbierung der Kupfermenge (1,5 kg/ha) nur um 5 Tage (Abb. 1). Die Fläche unter der Befallskurve (FUBK) in den Behandlungsvarianten war signifikant geringer als in der UK.

Mit 380 dt/ha erreichte die volle Kupferaufwandmenge den höchsten Ertrag und damit einen Mehrertrag von 32 dt/ha im Vergleich zur UK (348 dt/ha). Bei der halben Kupferaufwandmenge lag der durchschnittliche Ertrag bei 373 dt/ha, mit dem Zusatz von Mikroorganismen bei 360 dt/ha. Aufgrund der Heterogenität des Bodens am Versuchsstandort konnten die Mehrerträge allerdings statistisch nicht abgesichert werden. Eine Halbierung der Kupferaufwandmenge ist auch bei starkem Befallsdruck möglich. Ein völliger Verzicht zur Regulierung der Krautfäule würde jedoch zu starken Ertrags- und Qualitätseinbußen führen.

Insektenvielfalt in ökologisch und integriert geführten Winterweizenanbausystemen

Auf dem JKI-Versuchsfeld in Dahnsdorf wurde im Jahr 2019 die Biodiversität von Insektenarten in jeweils vier

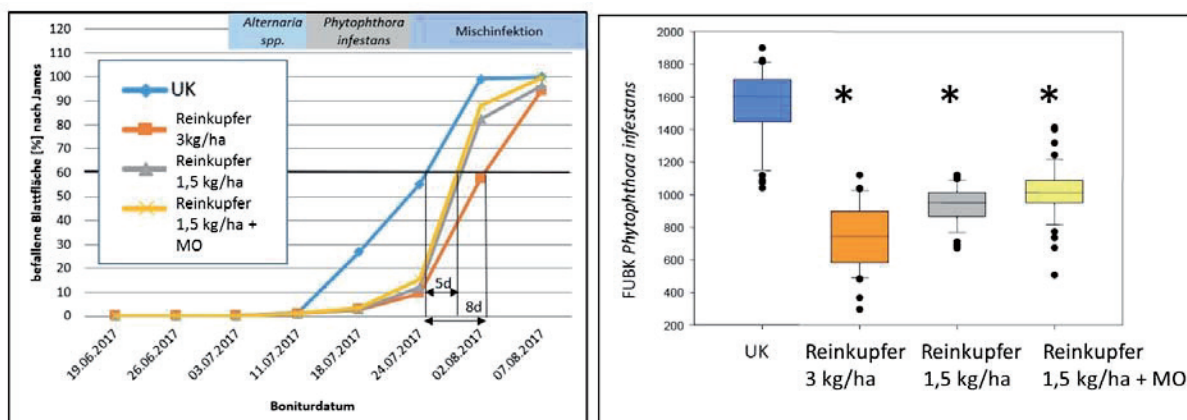


Abb. 1. Links: Vergleich der befallenen Blattfläche der Kartoffeln 2017 während der Vegetationszeit. Rechts: Vergleich der Fläche unter der Befallskurve (FUBK); $n = 40$; * signifikanter Unterschied zur Kontrolle $P < 0,05$ (Tukey-Test).
Left: Comparison of the infested leaf area of potatoes 2017 during the vegetation period. Right: Comparison of the area under the disease-progress curve (AUDPC); $n = 40$; * significant difference to control $P < 0,05$ (Tukey test).



Abb. 2. Vergleich einer Weizenparzelle im Ökologischen (links) und im Integrierten Landbau (rechts). Foto: Stefan Kühne, JKI
Comparison of a wheat plot in organic farming (left) and in integrated farming (right). Photo: Stefan Kühne, JKI

vollständig randomisierten Wiederholungen des ökologischen und des integriert bewirtschafteten Weizens miteinander verglichen (Abb. 2).

Mit dem Insektenkescher (30 cm Durchmesser) wurden je Parzelle 25 Doppelschläge durchgeführt. Die Fänge erfolgten wöchentlich, vormittags zwischen 10:00 und 13:00 Uhr, bei trockenem und sonnigem Wetter. Die gekescherten Insekten wurden mit einem Exhaustor aus dem Insektennetz abgesaugt und in 70%iges Ethanol überführt.

Pro Weizenparzelle wurde ein Bodenphotoelektor mit einer Grundfläche von 0,053 m² aufgestellt, der aus dem Boden schlüpfende Insekten abgefangen hat. Die Fallen sind wöchentlich geleert und umgesetzt worden. Die Kescher- und Bodenphotoelektorfänge erstreckten sich über die 18. bis 26. Kalenderwoche. Mit Hilfe eines standardisierten Fraßaktivitätstests (bait sticks) wurde die Bodenaktivität in allen Wiederholungen der beiden Bewirtschaftungsvarianten untersucht (Abb. 3). 16

Köderstreifen wurden pro Wiederholung am 7. Mai in den Boden eingebracht und am 31. Juli für die Auswertung aus dem Boden entfernt. Gezählt wurden nur die vollständig ausgefressenen Löcher, deren Anteil wurde in Prozent berechnet.

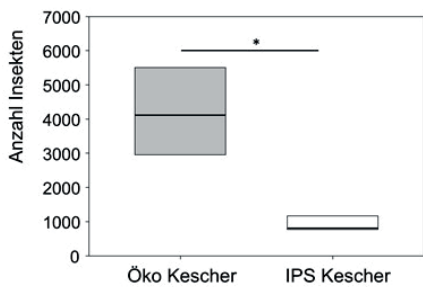
Die Abundanz von Insekten (Abb. 4) und Spinnen sowie die Biomasse aller Arthropoden war in den Kescherfängen der ökologischen Anbauvariante signifikant höher als in der integrierten Bewirtschaftung.

Auch wurde eine höhere Diversität von Marienkäfern festgestellt (Abb. 4), die Schwebfliegen-Diversität unterschied sich nicht. Beide Nützlingsgruppen hatten in der Öko-Variante eine deutlich höhere Abundanz aufzuweisen, was auch bei Wildbienen mit 22 gegenüber einem Exemplar in der integrierten Variante beobachtet wurde. Rennraubfliegen (Hybotidae) sind mit den angewendeten Fangmethoden, entgegen der Erwartung, nur selten gefangen worden und eigneten sich 2019 dadurch weniger für einen Vergleich der Anbausysteme (Tab. 4).

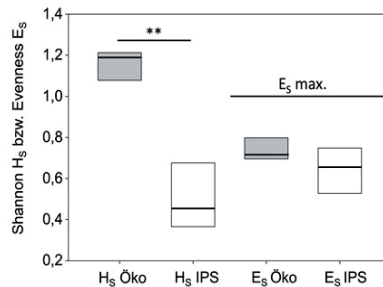


Abb. 3. Insektenfangmethoden für Biodiversitätsuntersuchungen (links: Einheitskescherfänge (25 Doppelschläge), Mitte: Bodenphotoektoren) sowie rechts: Fraßaktivitätstest (bait sticks). Fotos: Stefan Kühne, JKI
Insect catching methods for biodiversity studies (left: uniform insect net catches (25 double hits), middle: ground photoelectors) and right: bait sticks. Photos: Stefan Kühne, JKI

Insektenzahl - Kescher



Marienkäfer-Diversität



Fraßaktivitätstest

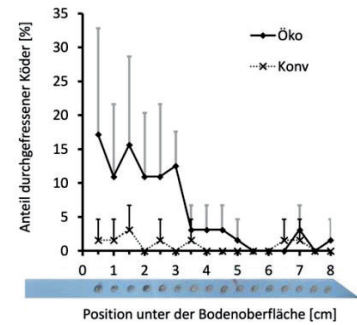


Abb. 4. Links: Vergleich der Gesamtzahl der mit Kescher gefangenen Insekten im ökologisch (Öko) und integriert bewirtschafteten Weizen (IPS) 2019. Mitte: Diversitätsvergleich von Marienkäferarten (Kescherfänge) mit Shannon HS- und Evenness ES - Index. Rechts: Vergleich der Bodenaktivität mit Hilfe des Fraßaktivitätstests (bait sticks).

Left: Comparison of the total number of insects caught with insect nets in organic (Öko) and integrated farming wheat (IPS) 2019. Middle: Diversity comparison of ladybird species with Shannon HS- and Evenness ES - Index. Right: Comparison of soil activity using bait sticks.

Tab. 4. Vergleich des Auftretens der Rennraubfliegen (Hybotidae) im ökologisch (Öko) und integriert bewirtschafteten Weizen (IPS) 2019 (Kescherfänge).

Comparison of the occurrence of predatory flies (Hybotidae) in organic (Öko) and integrated managed wheat (IPS) 2019 (net catches).

	Platypalpus	KW	19	20	21	22	23	24	25	26
Öko	<i>P. aeneus</i>		1							
	<i>P. articulatoides</i>						2			
	<i>P. articulatus</i>							1		1
	<i>P. pallidiventris</i>							1	1	
IPS	<i>P. articulatoides</i>						1			1
	<i>P. articulatus</i>									1

Auf Ebene der Insektenordnungen konnten sowohl durch die Kescher- als auch die Bodenphotoelektorfänge keine Unterschiede bei der Diversität und der Evenness festgestellt werden. Unter den Dipteren-Familien aus den Eklektorfängen zeigte sich jedoch eine signifikant höhere Diversität und Evenness in der integrierten Variante.

Mit überwiegend höheren Artenzahlen bzw. Anzahl an Dipteren-Familien und Insekten-Ordnungen sowie mit durchgehend höherer Abundanz der betrachteten Taxa zeigte der ökologische Anbau aber Vorteile gegenüber dem integrierten Anbau. Der Ackerboden, in dem sich Insektenlarven entwickeln, zeigte eine deutlich höhere Aktivität im Oberboden bis 5 cm in der Öko-Variante (Abb. 4). Insgesamt war die Aktivität jedoch aufgrund der Wärme und Trockenheit in 2019 gering, und es wird auch von einem negativen Effekt der Witterung des Vorjahres auf die Entwicklung räuberischer Fliegen im Boden ausgegangen.

Der Vergleich der Weizenenerträge aus ökologisch und integriert bewirtschaftetem Weizen wird in der Abbildung 5 dargestellt und basiert auf den Berechnungen in Tab. 1. Die Erträge lagen 2019 in der IPS-Variante bei 52

dt/ha und in der Öko-Variante nur bei 18 dt/ha (Abb. 5). Die besonders geringen Erträge in der Öko-Variante sind mit den vergleichsweise schlechteren Bodenverhältnissen zu erklären, die besonders in trockenen Jahren die Ertragsdifferenz zur IPS-Variante erhöhen. Nach Abzug der Saatgutkosten, Kosten für Pflanzenschutzmittel und Düngung sowie aller Arbeiterledigungskosten blieb jedoch in der Öko-Variante ein ökonomischer Vorteil von ca. 552 Euro pro Hektar (Preis Öko-Weizen 42,00 €/dt) gegenüber der IPS-Variante mit nur ca. 322 Euro pro Hektar (Preis konv. Weizen 14,74 €/dt). Bei einer Betrachtung über die gesamte Fruchtfolge wären aufgrund des Anbaus von Luzerne-Kleegrass ggf. noch andere Werte zu erwarten.

Fazit – Biologischen Pflanzenschutz weiterentwickeln

Der biologische Pflanzenschutz wird in allen Pflanzenschutzkonzepten zukünftig an Bedeutung gewinnen (KÜHNE, 2019). Der Begriff umfasst neben der Anwendung natürlich vorkommender Bakterien, Pilze und

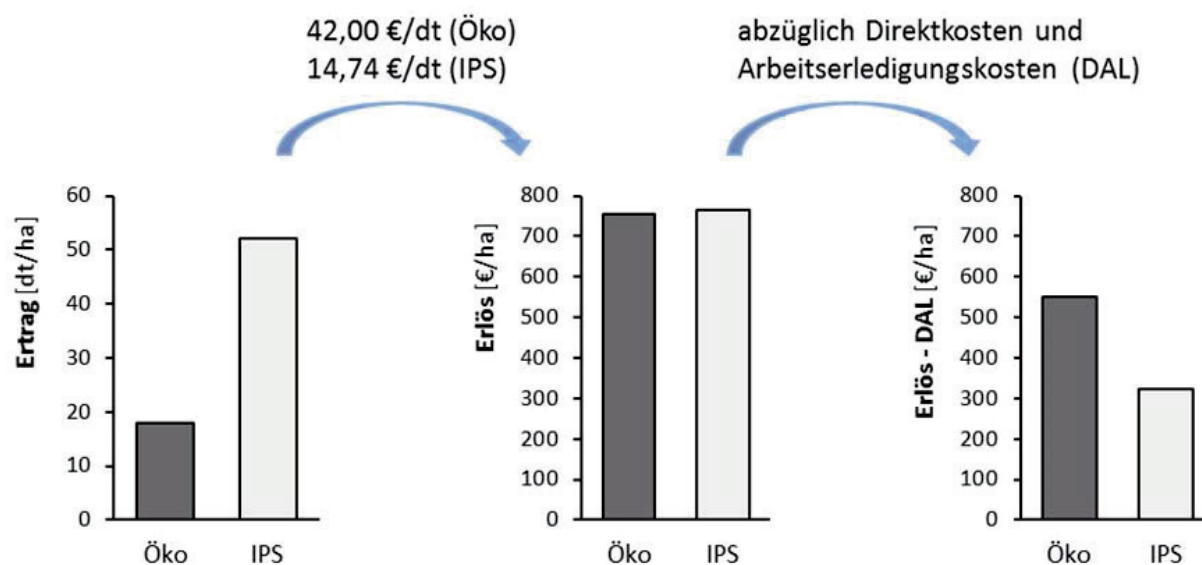


Abb. 5. Vergleich der Erträge und des Erlöses abzüglich der Direktkosten und Arbeitserledigungskosten (DAL) im ökologisch (ÖKO) und integriert bewirtschafteten Weizen (IPS) 2019.

Comparison of yields and costs in organic (organic) and integrated production of wheat (IPS) 2019, less direct costs and labour costs.

Viren, Insekten, Milben und Nematoden auch die Nutzung von Pflanzenextrakten und die Stärkung der funktionellen Biodiversität. Letztere hat das Ziel, natürliche Gegenspieler von Schadorganismen zu fördern, insbesondere ihre Ansiedlung, Vermehrung und Überwinterung durch entsprechende Landschaftsstrukturen (Hecken und blütenreiche Säume). Die Landwirtschaft wird zukünftig verstärkt auf diese Gratisleistung der Natur angewiesen sein, denn die Klimaveränderungen werden Insektenarten wie z.B. Kartoffelkäfer zukünftig stärker fördern.

Trotz der Beachtung aller vorbeugenden Maßnahmen können sich Schadorganismen bei klimatisch günstigen Bedingungen massenhaft vermehren und die Erträge und deren Qualität deutlich mindern. Ein Beispiel hierfür ist die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel, die bis Anfang des 20. Jahrhunderts in Deutschland und weltweit immer wieder zu Missernten geführt hat und auch heute die Erträge erheblich mindern kann. Obwohl die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln das letzte Mittel der Wahl zur Regulierung von Schadorganismen sein sollte, ist ein Verzicht wegen der Ertrags- und Qualitätssicherung bestimmter Kulturen nicht möglich. Dabei werden zukünftig naturstoffliche Präparate eine größere Rolle spielen, die häufig eine Vielzahl von Wirkstoffen enthalten. Die Erhaltung der Artenvielfalt, beispielhaft von Bienen und anderen Insekten der Agrarlandschaft, ist eine wichtige Aufgabe und kann nur gemeinsam mit den Landwirten umgesetzt werden. Neben einer vielfältigen Fruchtfolge, der Anlage und Pflege naturnaher Saumbiotop und durch die Reduktion des Dünge- und Pflanzen-

schutzmitteleinsatzes kann ein Beitrag dazu geleistet werden.

Literatur

- BMEL, 2019: Ernte 2019. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).
- FREIER, B., S. KRENGEL, Ch. KULA, S. KÜHNE, H. KEHLENBECK, 2017: Bericht über Erkenntnisse wissenschaftlicher Untersuchungen über mögliche direkte und indirekte Einflüsse des Pflanzenschutzes auf die Biodiversität in der Agrarlandschaft. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, **189**, 67 p.
- FiBL, 2010: Biokartoffeln – Qualität mit jedem Anbauschritt. Bioland, KÖN, Bio Austria, FiBL, vTI. 28 p.
- JEGER, M.J., S.L.H. VILJANEN-ROLLINSON, 2001: The use of area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, **102**, 32-40.
- KTBL, 2015: Faustzahlen für den Ökologischen Landbau von KTBL e.V. 760 p.
- KÜHNE, S., 2019: Pestizide sind schuld. DLG-Mitteilungen **134** (4), 14-17.
- SCHMITT, A., 2016: Final Report Summary – CO-FREE (Innovative strategies for commer-free low input and organic farming systems). URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/289497/>.
- ZINKE, O., 2018: Biogetreide: Gute Ernte und stabile Preise, agrarheute, URL: <https://www.agrarheute.com/markt/marktfruechte/biogetreide-gute-ernte-stabile-preise-549750>.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Isabella Karpinski, Rebecka Ridder, Sandra Rajmis, Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Hella Kehlenbeck

Fruchtfolge versus Monokultur: Betriebswirtschaftliche Betrachtung eines Dauerfeldversuches im Roggenanbau über 18 Jahre

Crop rotation versus monoculture: Economic analysis of long-term (18 years) field trials in rye

Zusammenfassung

Eine vielfältige Fruchtfolge mit Leguminosen kann durch deren positive Vorfruchtwirkung wirtschaftliche Vorteile für die Landwirtschaft bringen. Meist berücksichtigen betriebswirtschaftliche Bewertungen aber nur Einzelkulturen. Im vorliegenden Beitrag wird eine betriebswirtschaftliche Bewertung der gesamten Fruchtfolge anhand der direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung (DAL) sowie deren Nettobarwert und Annuität vorgestellt, die auf drei Rotationen über einen Zeitraum von 18 Jahren basiert. Dazu wurde ein Dauerfeldversuch zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz am JKI-Versuchsstandort Dahnsdorf betriebswirtschaftlich ausgewertet. Verglichen wurden eine sechsgliedrige Fruchtfolge mit Gerste und Roggen, aufgelockert durch Erbse und Weißklee mit dem Daueranbau von Roggen.

Ertragseffekte der nach Leguminosen folgenden Früchte Gerste und Roggen hatten neben der Verwendung von Klee (Gründüngung) dabei den entscheidenden Einfluss. Die Kosten in den untersuchten Pflanzenschutz- und Düngungsvarianten blieben über die Jahre weitgehend konstant. In der Fruchtfolge war der Roggenanbau nach Erbse in allen Varianten betriebswirtschaftlich am vorteilhaftesten. Der Vergleich des Daueranbaus von Roggen mit der abwechslungsreichen Fruchtfolge zeigte aber andererseits, dass bei entsprechenden Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen der Daueranbau sogar erfolgreicher war.

Vor dem Hintergrund zunehmender gesellschaftlicher und politischer Forderungen nach einer Verringerung der Anwendung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln sollten zukünftige Handlungsempfehlungen zu Ackerbaustrategien berücksichtigen, dass erweiterte Fruchtfolgen mit Leguminosen helfen können, die Wirtschaftlichkeit des Ackerbaus langfristig zu sichern. Der betriebswirtschaftliche Vorteil der Fruchtfolgen nahm über die Jahre und Rotationen deutlich zu.

Stichwörter: Dauerfeldversuch, betriebswirtschaftliche Auswertung, Roggenanbau, Leguminosen, direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung (DAL)

Abstract

A diverse crop rotation with legumes may provide economic advantages for agriculture due to their positive pre-crop effects. In most cases, economic evaluations only take single main crops into account. Here, an economic evaluation of the entire crop rotation is presented, which was based on three rotations over a period of 18 years. We assessed a long-term field trial on impact assessment of crop rotation, fertilization and plant protection performed at JKI-field site in Dahnsdorf economically based on the direct and labor cost-free revenues as well as net present values and annuities. Permanent rye cultivation and a crop rotation with six components including barley and rye, diversified with pea and white clover were compared.

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Isabella Karpinski, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: isabella.karpinski@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

2. Juni 2020

Yield increases of barley and rye following legumes had decisive influence on the economic result as well as the use opportunity of clover (green manure). Costs of plant protection and fertilization remained almost the same over the years. The cultivation of rye after peas in crop rotation was economically most advantageous in all tested variants. The comparison of the long-term cultivation of rye with the varied crop rotation showed, however, that with appropriate fertilizer and crop protection measures, the long-term cultivation was even more successful.

With respect to societal and political demands for reducing pesticide and fertilizer use, future recommendations for farming strategies should take into account the economic viability of extended crop rotations with legumes. The economic advantage of crop rotations significantly increased over the years and rotations.

Key words: long-term field trials, economic evaluation, rye production, legumes, direct- and labour cost free revenues

Einleitung

Dauer- und Langzeitversuche bieten die besondere Möglichkeit der Untersuchung von Langzeiteffekten im Pflanzenbau, wie sie insbesondere auch bei Fruchtfolgen oder beim Daueranbau von Kulturen auftreten und in „normalen“, oftmals dreijährigen Versuchen (noch) nicht zu beobachten sind.

Die Fruchtfolge ist ein zentrales Element des integrierten Pflanzenschutzes (IPS) zur Vorbeugung ackerbaulicher Probleme. Eine ausgewogene, vielfältige Fruchtfolgegestaltung trägt zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit bei und bringt vielfältige vorteilhafte phytosanitäre Effekte mit sich. Sie wirkt in besonderer Weise dem Befall durch Schadorganismen, einschließlich dem Auftreten von Unkräutern entgegen, und hilft, die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf ein notwendiges Maß zu begrenzen. Darüber hinaus tragen erweiterte Fruchtfolgen dazu bei, den mit dem Ackerbau in Verbindung gebrachten Verlust der Biodiversität zu verringern (GROSS & ZIMMERMANN, 2019).

Zunehmende gesellschaftliche und politische Anforderungen hinsichtlich einer Verringerung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, aber auch eine abnehmende Verfügbarkeit von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen führen zu einer verstärkten Ausrichtung der Pflanzenproduktion auf ackerbauliche und nichtchemische Maßnahmen hin zur Entwicklung resilienter Anbausysteme. Dieses wird auch besonders in der Ackerbaustrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) adressiert (siehe BEER & KOTTMANN, 2020, dieses Heft).

Die Erweiterung derzeit oft enger Fruchtfolgen durch Leguminosen bietet vielfältige Vorteile einschließlich positiver Umweltwirkungen oder der Unabhängigkeit der Betriebe vom Zukauf von Eiweißfuttermitteln und

wird auch im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL besonders gefördert.

Die positive Vorfruchtwirkung von Leguminosen ist überwiegend dem der Nachfrucht zur Verfügung stehenden Stickstoff zuzuschreiben, der über das Hinterlassen des Luft-Stickstoffs in Wurzeln (Knöllchenbakterien) und Ernterückständen im Boden entsteht. Leguminosen in Fruchtfolgen tragen dazu bei Infektionszyklen von Fruchtfolgekrankheiten, z.B. Schwarzbeinigkeit, Halmbruch, DTR und *Fusarium* zu unterbrechen und den Krankheitsdruck in der Folgekultur zu reduzieren. Die genannten Vorteile wirken sich auch positiv auf den Ertrag aus. Ohne mineralische Düngung, wie im Ökolandbau praktiziert, fallen die auf diese Weise erzeugten Mehrerträge noch mehr ins Gewicht (ALPMANN & SCHÄFER, 2014).

Trotz der zahlreichen positiven Vorfruchtwirkungen der Leguminosen werden diese nur in einem begrenzten Umfang in Fruchtfolgen integriert, was oftmals mit der geringen Wirtschaftlichkeit begründet wird. Ein Grund dafür könnte sein, dass ökonomische Bewertungen häufig nur auf der Grundlage von Einzelkulturen durchgeführt werden und (Vorfrucht-)Wirkungen der gesamten Fruchtfolge dabei unberücksichtigt bleiben.

Im vorliegenden Beitrag wird daher eine betriebswirtschaftliche Bewertung der gesamten Fruchtfolge vorgestellt, die auf drei vollständigen Rotationen über einen Zeitraum von 18 Jahren basiert. Verglichen werden eine sechsgliedrige Fruchtfolge mit Gerste und Roggen, aufgelockert durch zweimaligen Leguminosenanbau (Erbsen und Weißklee), mit einem Roggendaueranbau. Der zugrundeliegende Feldversuch wurde am JKI-Versuchsstandort Dahnsdorf im südlichen Brandenburg durchgeführt.

Folgenden Forschungsfragen sind wir dabei nachgegangen:

- (1) Welche wirtschaftlichen Effekte zeigen sich in der Fruchtfolge, auch im Vergleich zum Roggendaueranbau?
- (2) Lassen sich Vorfruchteffekte der Leguminosen bzgl. der Wirtschaftlichkeit erkennen und ab wann werden wirtschaftliche Vorteile der Fruchtfolgen sichtbar?
- (3) In welcher Fruchtfolge und an welcher Stelle in der Fruchtfolge erzielt Roggen als Hauptanbaukultur die höchsten wirtschaftlichen Vorteile?
- (4) Welchen Einfluss haben Pflanzenschutz und Düngung auf die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen?

Material und Methoden

Eine detaillierte Beschreibung des JKI-Versuchsfeldes in Dahnsdorf findet sich bei SCHWARZ et al. (2015).

Versuchsaufbau und Vorgehensweise

Für die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Fruchtfolgen wurden Feldversuche des Dauerversuches „Folgenabschätzung“ des Versuchsstandortes Dahnsdorf der

Jahre 2000 bis 2017 herangezogen. Dabei wird der Daueranbau von Winterroggen mit einer Fruchtfolge mit einem Drittel Leguminosen in den **Varianten**:

- (b1) ohne Düngung und ohne Pflanzenschutz,
- (b2) nur Pflanzenschutz,
- (b3) nur Düngung,
- (b4) mit Düngung und mit Pflanzenschutz,

verglichen. Das Düngungsniveau lag mit 100 bis 120 kg N/ha auf einem mittleren Niveau und der Pflanzenschutz erfolgte situationsangepasst im Rahmen der guten fachlichen Praxis bzw. des integrierten Pflanzenschutzes.

Da der fixierte Luftstickstoff der Leguminosen optimal genutzt werden sollte, wurde in der Fruchtfolge die Wintergerste als früh folgende Kultur angebaut. Aufgrund von erforderlichen Anbauabständen der Leguminosen wurden unterschiedliche Leguminosen für die Fruchtfolge gewählt. Somit bestand die untersuchte Fruchtfolge aus folgenden Fruchtfolgegliedern:

Erbse – Wintergerste (Gerste_a) – Winterroggen (Roggen_a) – Weißklee – Wintergerste (Gerste_b) – Winterroggen (Roggen_b)

Die Versuche zur Fruchtfolge wurden pro Variante auf drei Feldern durchgeführt, so dass in einem Jahr drei Glieder der Fruchtfolge angebaut wurden (siehe Abb. 1). Eine vollständige Rotation der Fruchtfolge umfasst sechs Fruchtfolgeglieder und geht somit über sechs Jahre. Um bis zu drei Rotationen, also 18 Jahre auswerten zu können, wurden Daten der Jahre 2000–2017 herangezogen. Auf Feld 3 konnten drei Rotationen (Rotation 1, 2, 3) ausgewertet werden, auf Feld 1 und 2 jeweils zwei Rotationen (Rotation 1, 2). Den Anfang einer Rotation macht jeweils die Erbse. Dabei unterscheiden sich die Jahre des Beginns einer Rotation auf den drei Feldern (immer), so

dass Rotation 1 auf Feld 1 von 2002 bis 2007, Rotation 1 auf Feld 2 von 2004 bis 2009 und Rotation 1 auf Feld 3 von 2000 bis 2005 geht. Rotation 2 und 3 folgen diesem Prinzip (siehe Abb. 1).

Die Auswertung der Versuche erfolgte über einen Vergleich des Roggendaueranbaus mit der gesamten Fruchtfolge und einzelner Kulturen in den Varianten b1 bis b4. Um Aussagen zu betriebswirtschaftlichen Auswirkungen von Fruchtfolgen machen zu können, die auch mit der Praxis vergleichbar sind, erfolgte die Auswertung der Daten hauptsächlich vertikal über verschiedene Jahre, also „rotationstreu“ von Rotation 1 bis 3. Betriebswirtschaftliche Kenngrößen wurden dabei „rotationstreu“ über die (drei) Felder gemittelt (siehe Abb. 1).

Datengrundlagen

Erträge (inkl. Kornfeuchte) sowie die Menge und Häufigkeit eingesetzter Betriebsmittel in der Fruchtfolge und im Roggendaueranbau in den Varianten b1 bis b4 wurden den Versuchsdaten entnommen.

Weitere Daten, wie Erzeugerpreise, Betriebsmittelpreise und Kosten der Arbeitsleistung (Ausbringung und Maschinenkosten) wurden aus sekundärstatistischen Quellen, wie den Statistiken des statistischen Bundesamtes, des BMEL, den AMI Berichten „Marktbilanz“ zu Erzeugerpreisen und den Standarddaten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) aus der „Betriebsplanung Landwirtschaft“, ergänzt (AMI, 2019; KTBL, 1999–2016; STATISTISCHES BUNDESAMT, 2001–2013). Für alle Daten (Erzeuger-, Betriebsmittelpreise und Kosten) wurden für den Untersuchungszeitraum keine Pauschalpreise, sondern die jeweils gültigen Kosten und Preise der einzelnen Jahre (2000–2017) verwendet. Allein für den Zinssatz wurde der Mittelwert der Jahre 2000–2017 mit 5,3% auf KTBL-Basis herangezogen (FRISCH, J., E-Mail, 28.01.2019). Preise für Pflanzenschutzmittel entstammen den Agrarpreislisten Ost der Jahre 2000–2017. Kosten für Düngemittel wurden auf Reinnährstoffe heruntergebrochen und über Preisindizes der statistischen Jahrbücher des BMEL für die einzelnen Jahre berechnet. Lagen z.B. keine Preise in einem Jahr für Saatgut vor, wurden Preise mit Hilfe von Preisindizes der jeweiligen Jahrgänge der statistischen Jahrbücher berechnet.

Als Zielfeuchte für das Erntegut wurde in den Feldversuchen ein Wert von 14% angenommen, so dass für alle Ernten, die diese Grenze überschritten, Trocknungskosten angesetzt wurden, die aus Kalkulationsdaten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft LfL (2019) stammen. Kosten der Arbeitsleistung und Mechanisierung (angelehnt an Versuchsbedingungen) wurden den KTBL Standarddaten entnommen.

Betriebswirtschaftliche Kenngrößen

Der wirtschaftliche Vorteil von Fruchtfolgen oder einzelnen Kulturen wurde mit Hilfe von Verfahren der Kosten-Leistungs-Rechnung erfasst. Mit Hilfe standardisierter betriebswirtschaftlicher Kennzahlen, wie der direkt- und arbeitsleistungskostenfreien Leistung (DAL), ist

Jahr	Feld 1 Kultur	Feld 2 Kultur	Feld 3 Kultur
2000	Gerste_b	Roggen_a	Rotation 1 Erbse Gerste_a Roggen_a Klee
2001	Roggen_b	Klee	
2002	Erbse	Gerste_b	
2003	Gerste_a	Roggen_b	
2004	Roggen_a	Erbse	
2005	Klee	Gerste_a	Rotation 2 Erbse Gerste_a Roggen_a Klee
2006	Gerste_b	Roggen_a	
2007	Roggen_b	Klee	
2008	Erbse	Gerste_b	
2009	Gerste_a	Roggen_b	
2010	Roggen_a	Erbse	Rotation 3 Erbse Gerste_a Roggen_a Klee
2011	Klee	Gerste_a	
2012	Gerste_b	Roggen_a	
2013	Roggen_b	Klee	
2014	Erbse	Gerste_b	
2015	Gerste_a	Roggen_b	
2016	Roggen_a	Erbse	
2017	Klee	Gerste_a	

Abb. 1. Versuchsanlage des Dauerfeldversuches zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz

es möglich die zu untersuchenden Strategien und Varianten zu analysieren und zu vergleichen. Standardisierte betriebswirtschaftliche Kalkulationen sind hilfreich, um Abhängigkeiten und Schwankungen einzelbetrieblicher Ausprägungen und damit auch Änderungen der ausgewiesenen Vorzüglichkeiten aufzuzeigen.

Für jede Kultur wurde zunächst die DAL ermittelt. Zur Berechnung der DAL wurden neben den Erlösen die Betriebsmittel für Aussaat, Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz sowie die Maschinen- und Lohnkosten berücksichtigt. Zusätzlich gingen Trocknungskosten und Zinskosten für gebundenes Kapital in die Berechnungen mit ein. Die DAL ergibt sich somit aus den Erlösen (Ertrag \times Erzeugerpreis) abzüglich der Direkt-, Arbeitserledigungs-, Trocknungskosten und des Zinsansatzes (nach SCHROERS & SAUER, 2011, siehe Abb. 2).

Die so errechnete DAL der einzelnen Kulturen und Jahre wurden anschließend mit Hilfe der Annuitätenmethode (MUßHOFF & HIRSCHAUER, 2016, siehe Abb. 2), abhängig vom Betrachtungszeitraum von sechs Jahren für eine Rotation und bis zu 18 Jahren für den Vergleich von drei vollständigen Rotationen in jährliche Beträge umgerechnet. Zunächst wird dabei die DAL des jeweiligen Betrachtungszeitraumes über den Nettobarwert (NBW) auf das Anfangsjahr abgezinst, um die Zahlungsströme, die zu unterschiedlichen Zeiten anfallen, vergleichbar zu machen. Mit Hilfe des Annuitätenfaktors (abhängig u.a. vom Betrachtungszeitraum) kann schließlich der NBW gleichmäßig auf den Betrachtungszeitraum verteilt werden. Für den Vergleich von einzelnen Kulturen wurden nur die Jahre innerhalb der Rotationen eins bis drei (siehe farbige Felder in Abb. 1) zur Berechnung der DAL herangezogen. Daraus ergibt sich für die einzelnen Kulturen (Erbse, Gerste_a, Roggen_a, Klee, Gerste_b, Rog-

gen_b) jeweils ein Anbau in sieben Jahren, zu dem ebenfalls der NBW und die Annuität berechnet wurden.

Die Berechnung der durchschnittlichen DAL über gesamte Rotationen erlaubt schließlich nicht nur eine Aussage zur betriebswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit einer Fruchtfolge im Vergleich zum Daueranbau, sondern auch zum betriebswirtschaftlichen Vorfruchtwert von Leguminosen, da die betriebswirtschaftlichen Bewertungsgrößen alle Effekte innerhalb der Rotation berücksichtigen (PREISSEL et al., 2015).

Da die vorliegenden Untersuchungen nicht auf Niedrigstzinsen von 1–2% basieren, sondern auf einem Durchschnittswert von 5,3% (s.o.), hat die NBW- oder Annuitätenmethode im Vergleich zu der Durchschnittswertbetrachtung der DAL durchaus Relevanz. Allerdings beruht die NBW-Methode üblicherweise auf Auszahlungen, während die DAL-Methodik zumindest teilweise auf (nicht auszahlungsrelevanten) kalkulatorischen Kosten basiert (Kosten sind nicht automatisch Auszahlungen und vice versa), so dass die NBW-Methode hier nur eingeschränkt interpretierbar ist. Daher stehen die Ergebnisse der NBW und Annuitäten nicht im Vordergrund der betriebswirtschaftlichen Untersuchungen.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Untersuchungen vorgestellt. Diese erfolgen jeweils im Vergleich der drei Rotationen der sechsjährigen Fruchtfolge im Vergleich zum Daueranbau von Roggen, d.h. über 18 Jahre von 2000 bis 2017. Dabei werden zunächst alle Einzelkulturen der Fruchtfolge, dann der Roggenanbau im Speziellen und schließlich die gesamte

Leistungen, Kosten, Kenngrößen	Beschreibung
<i>Erlös nach Trocknung</i>	<i>Ertrag (-Verlust Trocknung) \times Erzeugerpreis</i>
- Direktkosten (Betriebsmittel)	Saatgut, Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz
- Arbeitserledigungskosten	Maschinenkosten, Lohnkosten aller erforderlichen Arbeitsgänge
- Trocknungskosten	
- Zinsansatz	
= Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL)	
Nettobarwert (NBW)	$NBW = \sum_{t=1}^T \left(\frac{DAL_t}{(1+i)^t} \right)$ <i>T- Gesamtbetrachtungszeitraum</i> <i>t- jeweiliges Jahr</i> <i>i- Diskontierungsfaktor</i>
Annuität (A)	$A = NBW * ANF_{T,i}$ $ANF_{n,i} = \frac{(1+i)^T * i}{(1+i)^T - 1}$ <i>ANF- Annuitätenfaktor</i> <i>T, t, i- siehe NBW</i>

Abb. 2. Vorgehensweise zur Berechnung der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL) und verwendete betriebswirtschaftliche Kenngrößen nach SCHROERS & SAUER (2011) und MUßHOFF & HIRSCHAUER (2016).

Fruchtfolge anhand der vorgestellten betriebswirtschaftlichen Kennzahlen analysiert und betrachtet.

Wirtschaftlichkeit der einzelnen Kulturen in der Fruchtfolge sowie der Hauptanbaukultur Roggen

Für die Jahre 2000–2017 wurden die einzelnen Fruchtfolgelieder in den drei Rotationen (siebenmaliger Anbau) getrennt nach Kosten, Erträgen und Leistungen bewertet, um daraus die DAL zu berechnen. Die Bezeichnung der Kulturen mit dem Nachsatz „_a“ oder „_b“ deutet dabei auf die Stellung der Kultur in der Fruchtfolge hin. Die Bezeichnung „_a“ hinter einer Kultur bedeutet, dass die jeweilige Kultur an erster Stelle in der Fruchtfolge steht und „_b“ deutet auf die Wiederholung dieser Kulturen innerhalb der Fruchtfolge hin (siehe Abb. 1). Somit bedeutet „Roggen_a“, dass dieser die Vorvorfrucht Erbse und „Roggen_b“ die Vorvorfrucht Weißklee hatte.

Einzelkulturen der Fruchtfolge. Einen Überblick zur direkt- und arbeitsledigungskostenfreien Leistung (DAL) für alle Kulturen der betrachteten Fruchtfolge gibt Abb. 3. Die DAL ist hier jeweils als Durchschnittswert der einzelnen Kulturen in den vier Varianten abgebildet. Betrachtet man die einzelnen Varianten, so weist die Variante ohne Düngung und Pflanzenschutz (b1) in fast allen Kulturen der Fruchtfolge die niedrigste DAL auf. Pflanzenschutz und Düngung (b4) führen aber nicht in jeder Kultur zu dem höchsten wirtschaftlichen Vorteil, wie bei Gerste_b und Roggen_b (nach Weißklee) ersichtlich. Düngung und Pflanzenschutz führen bei Roggen_a (Vorvorfrucht Erbse) zu wirtschaftlichen Vorteilen. Für Roggen_b und Gerste_b hat Düngung und Pflanzenschutz kaum einen wirtschaftlichen Vorteil.

Gerste erzielt an beiden Stellen in der Fruchtfolge gute wirtschaftliche Ergebnisse. Die DAL steigt von 140 €/ha

(b1) bis 400 €/ha und für Gerste_a von 250 €/ha (b1) bis 460 €/ha (b2) für Gerste_b. Deutlich ist zudem ein wirtschaftlicher Vorteil von **Roggen** als Roggen_a zu erkennen. Dieser erreicht eine DAL von rund 200 €/ha (b1) bis zu 645 €/ha (b4), wohingegen Roggen_b nur Werte von 180 €/ha (b1) bis zu 230 €/ha (b2) aufweist.

Bei der **Erbse** fällt auf, dass nur in der Variante mit Düngung und Pflanzenschutz (b4) ein positiver Wert von rund 63 €/ha erreicht wird, während alle anderen Varianten negative Werte aufweisen mit einer DAL von bis zu rund -162 €/ha in Variante b1. In der betriebswirtschaftlichen Einzelbetrachtung der Erbse schneidet diese, wie erwartet, somit schlecht ab. Der Anbau von **Weißklee** (Klee) zum Zwecke der Gründüngung führt in der Einzelbetrachtung zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten. Weißklee zur Verwendung als Gründüngung erreicht eine negative DAL in Höhe von ca. -500 €/ha in allen Varianten. Pflanzenschutz entfällt in Weißklee, so dass nur die Kosten für die Grunddüngung ins Gewicht fallen, was die gleich hohen Werte jeweils für b1/b2 und b3/b4 zeigen.

Berücksichtigt man mit Hilfe der Annuitätenmethode (\emptyset Zins von 5,3%), dass die Zahlungen zu unterschiedlichen Zeiten anfallen und über den Nettobarwert und den Annuitätenfaktor des Betrachtungszeitraums auf gleichmäßige Zahlungen abgezinst wurden, so bestätigen die errechneten Annuitäten weitestgehend die Ergebnisse der durchschnittlichen DAL der Einzelkulturen.

Roggen. Der Vergleich des Roggendaueranbaus mit dem Roggenanbau in der Fruchtfolge zeigt bei Einzelauswertung der Kulturen anhand der DAL einen größeren betriebswirtschaftlichen Vorteil des Roggens_a. Wie in Abb. 4 zu sehen ist, fällt Roggen_b dazu deutlich ab. Roggen_a weist dabei besonders in den gedüngten Varianten b3 und b4 viel höhere DAL-Werte auf als in Roggen_b. Es

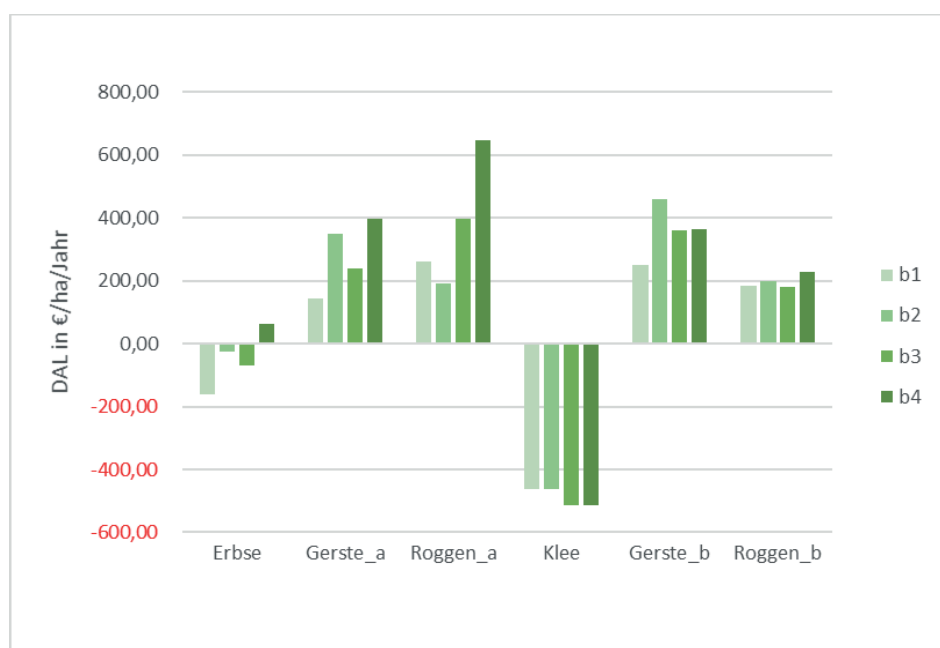


Abb. 3. Durchschnittliche DAL pro Kultur in der Fruchtfolge über drei Rotationen (18 Jahre). _a (Vorfrucht Erbse) bzw. _b (Vorfrucht Weißklee) bezeichnet die Reihenfolge der jeweiligen Kultur in der Fruchtfolge. b1 bis b4 beschreibt die Varianten: b1 (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), b2 (nur PS), b3 (nur Düngung), b4 (PS und Düngung).

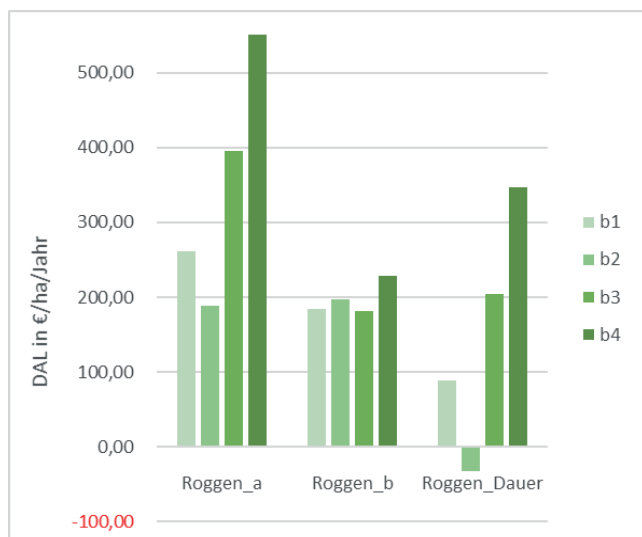


Abb. 4. Vergleich der durchschnittlichen DAL von Roggen in der Fruchtfolge (Roggen_a und Roggen_b) über drei Rotationen (siebenmaliger Anbau in 18 Jahren) mit dem Roggendaueranbau über 18 Jahre. _a (Vorfrucht Erbse) bzw. _b (Vorfrucht Weißklee) bezeichnet die Reihenfolge der jeweiligen Kultur in der Fruchtfolge. b1 bis b4 beschreibt die Varianten: b1 (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), b2 (nur PS), b3 (nur Düngung), b4 (PS und Düngung).

ist recht unwahrscheinlich, dass Roggen positiv mit einem höheren Ertrag auf das zusätzliche N-Angebot aus den Knöllchenbakterien der vorvorjährigen Erbse reagiert. Vielmehr könnten ungünstige klimatische Jahreseffekte des Roggens_b, mit deutlichen Wirkungen auf den Ertrag (siehe Tab. 1), eine Rolle gespielt haben, z.B. trockene Jahre (2011) und ein extrem starkes Hagelereignis im Jahr 2013.

Im Roggendaueranbau liegen die DAL-Werte der beiden Varianten ohne Düngung (b1 und b2) im Vergleich zum Roggen in der Fruchtfolge auf einem niedrigen Niveau (siehe Abb. 4). In Variante b2 kommen die Pflanzenschutzkosten besonders zum Tragen, da der Ertrag durch die fehlende Düngung niedrig ist und da keine Leguminosen hier Nährstoffe bereitstellen können, so dass die DAL besonders gering ausfällt und negativ wird. Die Düngungsvarianten b3 und b4 weisen hingegen deutlich höhere und positive DAL-Werte auf.

Auch für den Roggendaueranbau wurden die Annuitäten berechnet und die Ergebnisse der durchschnittlichen DAL-Werte bestätigt.

Bei den Kosten in den einzelnen Jahren beim Anbau von Roggen in der Fruchtfolge und im Daueranbau gibt es nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten b2 (PS) und b4 (PS und Düngung). Tab. 1 gibt einen Überblick über die durchschnittlichen Kosten (Direktkosten inkl. Arbeitserledigungskosten), Erträge, Erzeugerpreise und Erlöse im Roggen. Die für die b2-Variante aufgeführten Kosten für Düngung sind auf eine durchgeführte P- und K-Düngung in Roggen (Grunddüngungsmaßnahmen) in den Jahren 2005 und 2011 zurückzuführen. Da es sich hierbei um ungerade Jahre handelt, fallen die Kosten nur im Roggen_b und im Daueranbau ins

Gewicht. Die höheren Düngungskosten für Roggen_b in Variante b2 und b4 erklären sich im Vergleich zum Roggen im Daueranbau aus dem Mittel über sieben Jahre für Roggen in der Fruchtfolge und dem Mittel aus 18 Jahren von Roggen im Daueranbau. Von der Grunddüngung, die dann auch insgesamt die höchsten Kosten in Roggen_b verursacht, profitiert aber auch Roggen_a. In allen hier dargestellten Roggen-Varianten haben die Pflanzenschutzkosten den größten Anteil an den Kosten, noch vor der Düngung. Fungizidkosten wiederum haben den größten Anteil an den Pflanzenschutzkosten, gefolgt von den Herbizidkosten. Insektizide spielen keine Rolle. Wachstumsregler werden (Ausnahme 2007 in b2) nur in der Variante b4 eingesetzt, um Lager zu vermeiden. Dadurch liegen die Kosten für Pflanzenschutzmittel im Durchschnitt der Variante b4 auf etwas höherem Niveau als bei b2. Die Kosten für Pflanzenschutz insgesamt sind mit 160 €/ha (b2) zu 200 €/ha (b4) im Daueranbau von Roggen am geringsten. Arbeitserledigungskosten sind in allen Roggen-Varianten mit Pflanzenschutz am höchsten aufgrund einer höheren Anzahl von Überfahrten im Vergleich zu Düngung und Aussaat. Der Anteil der Arbeitserledigungskosten an den jeweiligen Kostenpositionen variiert von ca. 16% bei der Düngung bis zu 53% bei der Aussaat und liegt beim Pflanzenschutz bei ca. 42%. Aus Tab. 1 geht deutlich hervor, dass die Arbeitserledigungskosten für Fungizide und Herbizide auf einem ähnlichen Niveau liegen, die Kosten insgesamt für Fungizide aber höher ausfallen, was auf hohe Preise für Fungizide hinweist.

Erträge, Erzeugerpreise und Erlöse im Roggen

In allen drei Roggenvarianten werden in der Variante mit Pflanzenschutz (b2) deutlich geringere Erträge erreicht als in der gedüngten Variante (b4, siehe Tab. 1). Durchschnittliche Ertragszuwächse von ca. 20% für Roggen_b an zweiter Stelle in der Fruchtfolge (ungerade Jahre) bis zu einer Verdopplung der Erträge im Daueranbau sind in der Düngungsvariante zu verzeichnen. Für die Unterschiede in den Ertragszuwächsen im Roggen in der Fruchtfolge (a/b – gerade/ungerade Jahre) und im Daueranbau sind klimatische Jahreseffekte mitverantwortlich. Unter den ungeraden Jahren (Roggen_b) sind die Dürrejahre 2003 und 2011 und das Hageljahr 2013 zu finden. 2004, im Roggen_a, war dagegen ein sehr gutes Jahr mit hohen Erträgen. Veränderungen von Erzeugerpreisen im Roggen unterliegen über die 18 Jahre nur geringen Schwankungen. Unterschiedliche Erzeugerpreise in Tab. 1 erklären sich aufgrund des Anbaus von Roggen_a in geraden Jahren und Roggen_b in ungeraden Jahren (Siebenjahresdurchschnitt), während für Roggen im Daueranbau der 18-jährige Durchschnittswert herangezogen wurde und auch aus den oben erwähnten Jahreseffekten. Daher übertragen sich Ertragswirkungen direkt auf den Erlös und zeigen dieselben Entwicklungen auf. Die Werte der Erlöse in Tab. 1 stellen Durchschnittswerte dar und können nicht durch Multiplikation von Ertrag \times Erzeugerpreis ermittelt werden. Hinsichtlich der erzielten Erträge sollte beachtet werden, dass auf Ver-

Tab. 1. Darstellung der durchschnittlichen Kosten inkl. Arbeitserledigung (AEK), Erträge, Erzeugerpreise und Erlöse von Roggen in der Fruchtfolge (Roggen_a mit Vorfrucht Erbse, Roggen_b mit Vorfrucht Weißklee) im Vergleich zum Daueranbau (Roggen_Dauer) für die Varianten b2 und b4 des Dauerfeldversuches zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz. Durchschnitt der Fruchtfolge über drei Rotationen (siebenmaliger Anbau in 18 Jahren) und im Daueranbau über 18 Jahre. Roggen_a in geraden Jahren und Roggen_b in ungeraden Jahren. b2 beschreibt die Variante nur mit Pflanzenschutz, b4 beschreibt die Variante mit Pflanzenschutz und Düngung.

	Roggen_a	Roggen_b	Roggen_Dauer	Roggen_a	Roggen_b	Roggen_Dauer
Kosten in €/ha		Ø b2			Ø b4	
Fungizide	112,11	89,88	95,73	114,09	98,70	96,65
davon AEK	37,62	32,54	34,55	39,59	35,61	33,48
Herbizide	61,61	77,06	61,41	63,58	69,14	55,50
davon AEK	26,77	40,56	26,99	28,74	33,23	23,30
Insektizide	4,75	0,00	3,82	4,75	0,00	5,73
davon AEK	3,38	0,00	2,76	3,38	0,00	4,21
Wachstumsregler	0,00	5,70	0,00	41,53	39,84	42,16
davon AEK	0,00	3,95	0,00	25,32	25,39	26,26
PSM gesamt	178,47	172,64	160,96	223,95	207,68	200,04
davon AEK	67,77	77,05	64,30	97,04	94,23	87,25
Aussaat	68,92	77,52	72,38	68,92	77,52	72,38
davon AEK	38,11	39,04	37,87	38,11	39,04	37,87
Düngung	0,00	18,64	16,10	120,06	194,87	152,15
davon AEK	0,00	2,64	1,99	23,08	31,90	27,21
Bodenbearbeitung	163,20	160,45	161,33	163,20	160,45	161,33
Trocknung	8,86	10,51	9,14	0,00	3,93	10,42
Ernte	116,63	118,45	116,33	116,63	118,45	116,33
Summe Kosten	536,08	558,21	536,24	692,76	762,90	712,65
davon AEK	385,71	397,63	381,82	438,06	444,07	430,00
Leistung						
Ertrag (dt/ha)	61,92	65,68	40,03	94,64	77,36	81,40
Erzeugerpreis (€/t)	135,50	140,48	131,84	135,50	140,48	131,84
Erlös (€/ha)	842,43	887,10	505,34	1292,80	1058,44	1051,37

suchsfeldern in vielen Fällen höhere Erträge als in der landwirtschaftlichen Praxis erzielt werden.

Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen im Vergleich zum Daueranbau

In Abb. 5 sind die durchschnittlichen DAL-Werte der einzelnen Kulturen der Fruchtfolge über drei Rotationen (oben) und im Daueranbau über 18 Jahre (unten) abgebildet. Dabei ist zunächst deutlich zu erkennen, dass die Wirtschaftlichkeit der Kulturen in den einzelnen Jahren, im Daueranbau und vor allem auch in der Fruchtfolge, sehr starken Schwankungen unterliegt.

Im Roggendaueranbau kommt es in einzelnen Jahren, besonders in der Variante mit Pflanzenschutz und Düngung (b4) zu einer hohen DAL mit rund 1.000 €/ha (2008) und 892 €/ha (2012). In dieser Variante wird auch über die 18 Jahre generell die höchste DAL erreicht. Variante b1 (ohne PS und ohne Düngung) ist meist wirtschaftlicher, als Variante b2 mit Pflanzenschutz, bedingt durch die Pflanzenschutzkosten und gleichzeitig niedrigen Erträgen aufgrund der fehlenden Düngung. In Vari-

ante b2 wird auch die niedrigste DAL aller Varianten im Jahr 2013 mit -293 €/ha erreicht. Die Entwicklung der DAL über die Jahre lässt zunächst eine Abnahme bis 2003/2005 erkennen, gefolgt von einem Anstieg mit sehr guten Jahren in 2008 und 2012, bis ab dem Jahr 2015 wieder eine Abnahme der DAL zu beobachten ist. Ursache dafür sind Ertragsschwankungen.

In der Fruchtfolge sind weniger große Unterschiede in der DAL einzelner Kulturen in einem Jahr zwischen den Pflanzenschutz- und Düngungsvarianten zu beobachten. Allerdings variiert die DAL der einzelnen Kulturen ganz erheblich. Die Getreidekulturen liegen dabei auf einem relativ hohen Niveau mit 540 €/ha bei Roggen_a (in der zweiten und dritten Rotation) und 520 €/ha bei Gerste_a (in der dritten Rotation). Weißklee liegt in allen drei Rotationen zwischen -450 €/ha und -580 €/ha. Auch die Erbse weist oft negative DAL auf. Aufgrund von starker Verunkrautung in den Varianten b1 und b3 konnte in manchen Jahren die Erbse nicht beerntet werden. Dennoch entstanden Kosten. Nur in Rotation 3 liegt sie in der Variante b2 bei ca. 110 €/ha bzw. in b4 bei ca. 185 €/ha.

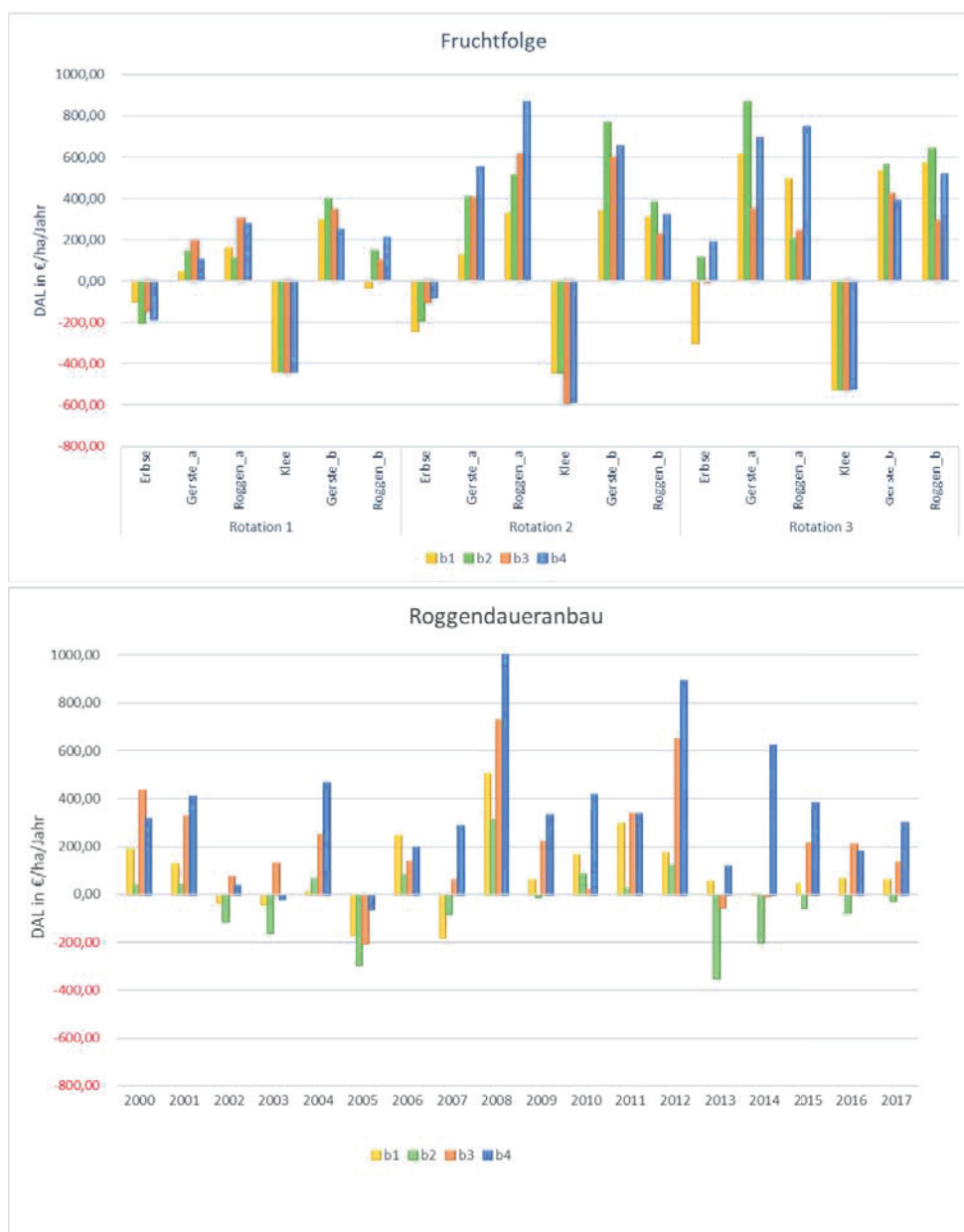


Abb. 5. Direkt- und arbeitsleistungskostenfreie Leistung (DAL) in der Fruchtfolge im Vergleich zum Roggendaueranbau über alle Kulturen und alle Varianten des Dauerfeldversuches zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz (über drei Rotationen, 18 Jahre). Oben Fruchtfolge, unten Roggendaueranbau. *_a* (Vorfrucht Erbse) bzw. *_b* (Vorfrucht Weißklee) bezeichnet die Reihenfolge der jeweiligen Kultur in der Fruchtfolge. *b1* bis *b4* beschreibt die Varianten: *b1* (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), *b2* (nur PS), *b3* (nur Düngung), *b4* (PS und Düngung).

Eine Übersicht der Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach Rotationen in Abb. 6 zeigt, dass die DAL im Durchschnitt der drei Felder (siehe Abb. 1) der Rotation in beinahe allen untersuchten Varianten positive Werte aufweist. Nur in der Variante *b1* ist für die erste Rotation eine DAL von -14 €/ha errechnet worden. Allerdings steigt die DAL über die Rotationen, d.h. über die Zeit, stetig an. Diese positive Entwicklung der Fruchtfolge basiert hauptsächlich auf Ertragssteigerungen von Rotation 1 zu Rotation 3 und insgesamt abnehmenden Kosten (u.a. der Trocknungskosten). Durchgängige Steigerungen der DAL von Rotation 1 zu Rotation 3 sind in den Varianten ohne Pflanzenschutz und Düngung (*b1*), nur mit Pflanzenschutz (*b2*) und mit Pflanzenschutz und Düngung (*b4*) zu beobachten. Eine sechsgliedrige Getreide-Leguminosen-Fruchtfolge scheint also erst längerfristig betriebswirtschaftlich vorteilhaft zu sein, hier ab der zweiten und

dritten Rotation, besonders in der Variante mit Pflanzenschutz und Düngung (*b4*). So steigert sich die durchschnittliche DAL über alle Varianten in Rotation 1 von 27 €/ha auf 250 €/ha und erzielt damit den höchsten Wert. Diese Ergebnisse unterstreichen die Wichtigkeit von Dauerfeldversuchen zur langfristigen Betrachtung solcher Effekte.

Bemerkenswert ist der relativ hohe Wert der DAL in der dritten Rotation in der Variante ohne Pflanzenschutz und Düngung (*b1*) mit 230 €/ha . Dieser wurde hervorgerufen durch deutlich höhere DAL in den Getreidekulturen als in der zweiten Rotation. Mögliche Gründe dafür könnten ein verbessertes Stickstoffangebot durch die Leguminosen innerhalb der Fruchtfolge sein. Auch ein geringer Krankheitsdruck, aufgrund fehlender mineralischer Düngung, könnte möglicherweise eine Ursache sein. Nicht zuletzt könnte auch der Züchtungsfortschritt



Abb. 6. Durchschnittliche direkt- und arbeitsleistungskostenfreie Leistung (DAL) je Fruchtfolge und im Roggendaueranbau im Durchschnitt über drei Rotationen, drei Zeiträume von sechs Jahren und insgesamt von 18 Jahren des Dauerfeldversuches zur Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz. b1 bis b4 beschreibt die Varianten: b1 (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), b2 (nur PS), b3 (nur Düngung), b4 (PS und Düngung).

der angebauten Sorten hinsichtlich Krankheitsresistenz oder Ertrag eine Rolle gespielt haben.

Im Durchschnitt aller Rotationen (siehe Abb. 6) schneiden die Varianten mit Pflanzenschutz b2 mit 156 €/ha und b4 mit Pflanzenschutz und Düngung mit 190 €/ha am vorteilhaftesten ab. Der Roggendaueranbau liegt in den gedüngten Varianten b3 und b4 aber sogar vor der Fruchtfolge im Durchschnitt der Rotationen, und zwar um jeweils 80 bis 160 €/ha, hauptsächlich aufgrund der negativen DAL des Weißklee in der Fruchtfolge. Ob sich diese Entwicklung weiter fortsetzen wird, werden die weiteren Versuchsjahre zeigen.

Wie auch bei der Auswertung der Einzelkulturen wurden neben der DAL auch die Nettobarwerte und deren gleichmäßige Verteilung über den Betrachtungszeitraum als Annuitäten berechnet. Abweichende Effekte lassen sich dabei nicht erkennen.

Untersuchung möglicher Einflussfaktoren. In den DAL-Berechnungen der Fruchtfolgen weist Klee sehr hohe ne-

gative Werte auf, auch für Erbsen können meist nur niedrige DAL-Werte errechnet werden. Dies ist vor allem beim Klee den hohen Saatgutpreisen zuzuschreiben. Der Preis von Klee-Saatgut ist im 18-jährigen Untersuchungszeitraum extrem stark gestiegen, etwa um das Vierfache. Von 2011–2017 stieg der Klee-Saatgutpreis von 3,61 €/kg auf 13,42 €/kg, so dass die Saatgutkosten insgesamt stark angestiegen sind. Wie man in Abb. 7 erkennen kann, ist auch das Saatgut von Erbsen im Vergleich zu Roggen und Gerste deutlich teurer.

Schlussfolgerungen

Anhand von Berechnungen der direkt- und arbeitsleistungskostenfreien Leistung konnten Versuchsergebnisse des Dauerfeldversuches „Folgenabschätzung von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz“ erstmals auch umfassend betriebswirtschaftlich ausgewertet werden. Unsere eingangs gestellten Forschungsfragen lassen sich nach den Ergebnissen folgendermaßen beantworten:

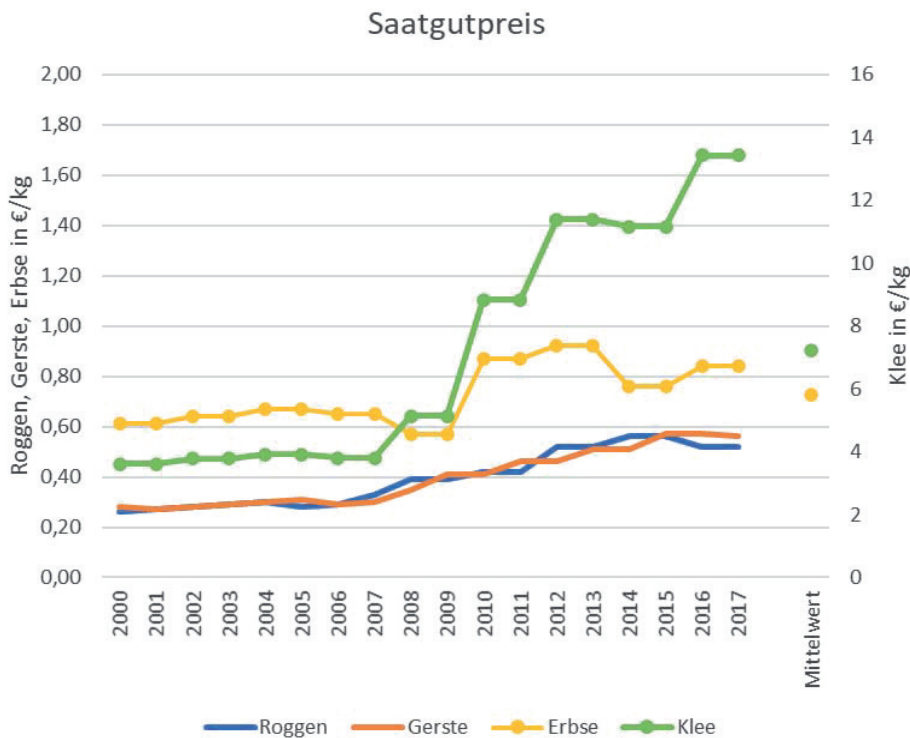


Abb. 7. Saatgutpreise für Roggen, Gerste, Erbsen und Weißklee für die Jahre 2000 bis 2017 (Quellen: KTBL, 1999 bis 2017, STATISTISCHES BUNDESAMT, 2001 bis 2013).

(1) Welche wirtschaftlichen Effekte zeigen sich in der Fruchtfolge, auch im Vergleich zum Roggendaueranbau?

Der Roggendaueranbau ist über den betrachteten Zeitraum von 18 Jahren, beurteilt anhand der DAL, betriebswirtschaftlich attraktiver als die Fruchtfolge, wenn Düngung und Pflanzenschutz angewendet werden. Dabei liegt die DAL der Fruchtfolge fast auf dem Niveau des Roggendaueranbaus, sofern die Varianten „mit Düngung“ betrachtet werden. Zum Tragen kommt dabei besonders, dass der Klee ohne Leistungen aufgrund der Verwendung als Gründung in die Berechnung eingegangen ist, wodurch die Ergebnisse zwischen den Jahren beim Wechsel von Getreide zu Leguminose großen Schwankungen unterlagen. Wurde hingegen nicht gedüngt, war die wirtschaftliche Vorzüglichkeit der Fruchtfolge weitaus höher als im Vergleich zum Roggendaueranbau. Auch ist festzustellen, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolge über die Zeit deutlich erhöht und in der dritten Rotation in fast allen Varianten höhere DAL-Werte aufweist. Die Effekte des Verzichts auf Düngung benötigen Zeit und werden erst über einen längeren Betrachtungszeitraum sichtbar.

(2) Lassen sich Vorfruchteffekte der Leguminosen bezüglich der Wirtschaftlichkeit erkennen und ab wann werden wirtschaftliche Vorteile der unterschiedlichen Fruchtfolgen sichtbar?

Vorfruchteffekte der Leguminosen sind sehr deutlich bei Roggen an erster Stelle in der Fruchtfolge (nach Erbse und Gerste) ab der zweiten Rotation zu erken-

nen. Auch für die Fruchtfolge insgesamt und alle anderen Kulturen steigt die DAL ab der zweiten Rotation stark an. In der dritten Rotation ist ebenfalls eine steigende Tendenz zu erkennen. Effekte zeigen sich insbesondere in den ungedüngten Varianten. Ob dies allerdings ein Ausgleich eines möglichen N-Defizits durch die Stickstoffbereitstellung der Leguminosen sein kann, müsste noch in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

(3) In welcher Fruchtfolge und an welcher Stelle in der Fruchtfolge erzielt Roggen als Hauptanbaukultur die höchsten wirtschaftlichen Vorteile?

Über alle 18 Jahre betrachtet erbringt Roggen_a in allen Varianten eine höhere Wirtschaftlichkeit im Vergleich zum Roggendaueranbau. In der zweiten und dritten Rotation erzielte der Roggen in der Fruchtfolge in den gedüngten Varianten sogar die höchsten DAL-Werte. Allerdings erreichte der Roggendaueranbau (ebenfalls in den gedüngten Varianten) nach zehnjährigem Anbau (2008) eine noch höhere Wirtschaftlichkeit, die in den nachfolgenden Jahren aber wieder rapide absank. Die Wirtschaftlichkeit des Roggens in der Fruchtfolge dagegen zeigt eine steigende Tendenz. Auch unter diesem Aspekt wird wieder deutlich, dass die genannten Effekte erst nach einer gewissen Zeit zu beobachten sind und daher Dauerfeldversuche zu einer sicheren Beurteilung unerlässlich sind.

(4) Welchen Einfluss haben Pflanzenschutz und Düngung auf die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen?

Während im Roggendaueranbau die gedüngten Varianten über die untersuchten 18 Jahre immer wirt-

schaftlicher waren, zeigte sich in der Fruchtfolge ein komplexeres Bild. Insbesondere wurde deutlich, dass trotz fehlender Düngung bei der Fruchtfolge die Wirtschaftlichkeit des Roggenanbaus auf einem hohen Niveau verblieb. Durch die Kompensation der fehlenden Düngung, aufgrund der Leguminosen in der Fruchtfolge, führte hier der Pflanzenschutz zu einer deutlichen Steigerung der DAL-Werte, was im Roggendaueranbau nicht der Fall war (bei der Variante b2 mit Pflanzenschutz, ohne Düngung). Für den Roggendaueranbau wurde sehr deutlich, dass die Wirtschaftlichkeit sehr stark von der Düngung abhängt. Pflanzenschutz lohnte sich nur, wenn auch gedüngt wird. In der Fruchtfolge hingegen war auch die Pflanzenschutzanwendung ohne Düngung wirtschaftlich vorteilhaft.

Diskussion und Ausblick

Die hier vorgestellten Ergebnisse leisten insgesamt einen Beitrag zu der Frage nach der betriebswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Leguminosen in Fruchtfolgen, die auch von PREISSEL et al. (2015) in ihrem Reviewartikel aufgeworfen wurde. Über einen längeren Zeitraum betrachtet, können gute Fruchtfolgen negative betriebswirtschaftliche Leistungen einzelner Früchte, wie Weißklee oder zum Teil auch Erbse, gut abfedern und führen auch betriebswirtschaftlich zu vorteilhaften Systemen.

Leguminosen, wie Erbse und Weißklee, können zu konkurrenzfähigen Alternativen zu anderen Hauptkulturen werden, besonders auch auf mittleren Ertragsstandorten, wie am Beispiel des Versuchsstandortes Dahnsdorf gezeigt wird. Sie haben einen hohen Vorfruchtwert (Erbse), der sich in deutlichen Mehrerträgen der Folgefrüchte und damit auch deren DAL wieder spiegelt. So kamen ALBRECHT & GUDAT (2004) in Thüringen zu dem Ergebnis, dass der Kornertrag von Winterweizen nach Leguminosen-Vorfrucht im Mittel um rund 10 dt/ha über dem nach Getreide-Vorfrucht lag. Unter Berücksichtigung von Einsparungen bei N-Düngung und Bodenbearbeitung ergab sich auch ein deutlicher monetärer Vorfruchtwert der Körnerleguminosen. Für die Wirtschaftlichkeit von Leguminosen und damit auch der gesamten Leguminosen-Fruchtfolge ist es für die Praxis besonders wichtig, neue Vermarktungswege für Leguminosen zu finden und auszuloten, um möglichst hohe Preise erzielen zu können. Beim Verkauf helfen inzwischen Online-Märkte, wie „leguminosenmarkt.de“ (STEVENS et al., 2018) als Alternative zum regulären Handel. Durch einen hohen Futterwert der Eiweißfrüchte und eine innerbetriebliche Verwertung z.B. als frisches Viehfutter kann die Wertschöpfung von Leguminosen im Betrieb sogar noch erhöht werden, da der Futterwert der Leguminosen deutlich über dem reinen Vorfruchtwert als Gründünger liegt (STEVENS et al., 2018 und ALPMANN & SCHÄFER, 2014).

Dies zeigt auch eine zusätzliche betriebswirtschaftliche Auswertung einer alternativen Weißklee-Verwertung auf der Grundlage der Ergebnisse der Dauerfeldver-

suche in Dahnsdorf. Dazu wurde der Weißklee als Gründüngung die Verwertung als Frischfutter mit niedrigem und hohem Ertragsniveau gegenübergestellt. In Regionen mit umfangreicher Rinderhaltung ist dies durchaus von Bedeutung. Die Simulation der DAL zur Frischfutterverwertung des Weißklees basiert auf einem Schnitt und den jeweiligen Kosten für Mähen und Laden (angelehnt an Rotklee-Gras-Gemenge nach KTBL, 1999–2016) der einzelnen Jahre (keine Pauschalkosten). Preise der Frischware wurden ebenfalls dem KTBL (1999–2016) entnommen und variieren von 24 €/t bis 33 €/t (ab 2013). Das niedrige Ertragsniveau wurde an Angaben des KTBL (1999–2016) angelehnt und beträgt für die Varianten ohne Düngung (b1 und b2) 10 t/ha und mit Düngung (b3 und b4) 15 t/ha Frischmasse Weißklee. Das hohe Ertragsniveau orientiert sich an Daten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL, 2020) und variiert von 20 t/ha (b1, b2) bis 25 t/ha (b3, b4). Diese Berechnung zeigt, dass die Weißklee-Verwendung als Frischfutter auf ertragreichen Standorten, bewertet anhand der DAL, durchaus betriebswirtschaftlich vorteilhaft sein kann (siehe Abb. 8): Bei der Simulation des hohen Ertragsniveaus weisen die DAL positive Werte von ca. 20 €/ha bis zu 90 €/ha auf. Beim niedrigen Ertragsniveau für die Frischfutterverwertung verbessert sich die DAL zwar deutlich im Vergleich zur Gründüngung, bleibt aber immer noch negativ (-246 €/ha bis -175 €/ha). Im Vergleich zur Gründüngung liegen die Varianten mit Düngung b3 und b4 mit ca. 71 €/ha Differenz zu den Varianten ohne Düngung b1 und b2 jetzt aber im Vorteil. Ab einem Ertrag von 21,6 t/ha, oder einem Erzeugerpreis von durchschnittlich 2,87 €/t (c. p.) Frischmasse Weißklee wird die DAL in den gedüngten Varianten positiv, was auf Hohertragsstandorten als durchaus realistisch einzuschätzen ist.

Betriebswirtschaftlich könnten Alternativen zum Weißklee noch attraktiver sein, auch wenn eine Verwendung in der Biogasproduktion berücksichtigt würde. In den vorliegenden Untersuchungen sollten aber die Dauerfeldversuche mit ihren Fruchtfolgegliedern nicht verändert werden, um einerseits den Charakter der Versuche unverändert zu lassen und andererseits eine Vergleichbarkeit über die Jahre zu gewährleisten. Mögliche Alternativen zu Weißklee wären beispielsweise Ackerbohne oder Soja. Die Standortbedingungen in Dahnsdorf schränken den Anbau dieser Kulturen allerdings ein, da Ackerbohnen einen hohen Wasserbedarf haben und dessen Verfügbarkeit in Dahnsdorf der limitierende Faktor ist. Beim Sojaanbau hingegen könnten Spätfröste problematisch werden. Leguminosen sollten in jedem Fall in der Fruchtfolge etabliert bleiben, da ohne Düngung (b1 und b2) der Stickstoff fehlen würde.

Die Ergebnisse für den Roggendaueranbau in der Variante mit Düngung und Pflanzenschutz zeigten überraschenderweise eine betriebswirtschaftliche Vorzüglichkeit gegenüber der Fruchtfolge. Dies könnte auf die Standortbedingungen in Dahnsdorf zurückzuführen sein und den Daueranbau gegebenenfalls auf weiteren marginalen Standorten in den Fokus ackerbaulicher Überle-

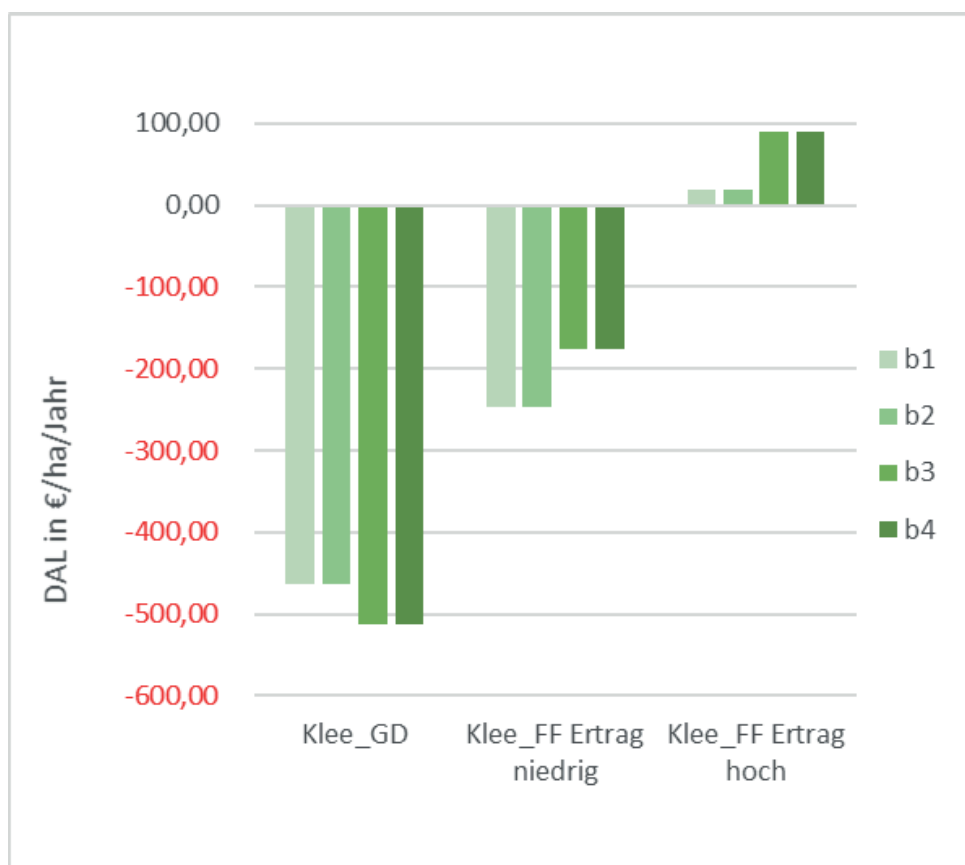


Abb. 8. Durchschnittliche DAL unterschiedlicher Weißklee-(Klee)verwertung über drei Rotationen (18 Jahre). GD bezeichnet die Verwertung als Gründung, FF bezeichnet die Verwertung als Frischfutter. b1 bis b4 beschreibt die Varianten: b1 (ohne Pflanzenschutz (PS) und ohne Düngung), b2 (nur PS), b3 (nur Düngung), b4 (PS und Düngung).

gungen rücken. Vor dem Hintergrund zunehmender Einschränkungen durch den Umwelt- und Naturschutz, auch im Kontext zukünftig noch erlaubter Düngungs- und Pflanzenschutzintensitäten wäre der Roggendaueranbau aus betriebswirtschaftlicher Sicht allerdings weniger attraktiv, da nur in den Varianten mit Düngung und Pflanzenschutz (auf mittlerem Niveau und nach der derzeitigen guten fachlichen Praxis mit dem integrierten Pflanzenschutz) wirtschaftliche Vorteile erzielt wurden. Bei gesamtwirtschaftlicher Betrachtung mit Berücksichtigung positiver und negativer Externalitäten könnte dann auch der extensive Daueranbau von Roggen vorteilhaft sein und sollte auch in zukünftige Analysen aufgenommen werden. Roggen gilt aus ackerbaulicher Sicht als sehr selbstverträglich, was vor allem auch der „ewige Roggen in Halle“ (1878 durch Julius Kühn angelegt) zeigt (HERBST et al., 2017). Auf vielen marginalen Standorten kann außer Roggen kaum anderes Getreide angebaut werden, so dass hier wenig Alternativen vorhanden sind.

Erweiterte Fruchtfolgen mit Leguminosen und die damit verbundene Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit können dabei helfen, die Wirtschaftlichkeit des Ackerbaus langfristig zu sichern. Nach BAHRS (2018) wird die zukünftige Gestaltung von Fruchtfolgen verstärkt im Fokus von Landwirten stehen müssen, um eine betriebswirtschaftliche Optimierung des Ackerbaus vorzunehmen. Dabei bleibt die Herausforderung für Ackerbauern

groß, die richtige Abstimmung zwischen Betriebswirtschaft und auch gesellschaftlichen Ansprüchen zu finden. Veränderte bzw. weitere und auch flexiblere Fruchtfolgen werden jedoch in vielen Betrieben Deutschlands, sowohl aus betriebswirtschaftlicher, als auch volkswirtschaftlicher bzw. gesellschaftlicher Perspektive, verstärkt zu beobachten sein.

Ein direkter Vergleich der hier untersuchten sechsgliedrigen Fruchtfolge mit klassischen engen Weizen-Weizen-Raps-Fruchtfolgen war im Rahmen der vorliegenden Versuchsdaten nicht möglich. Zukünftige Versuchskonzepte und Auswertungen sollten dies jedoch berücksichtigen.

Erklärung zu Interessenskonflikten


Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literatur


- ALBRECHT, R., C. GUDDAT, 2004: Welchen Wert haben Körnerleguminosen in der Fruchtfolge. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
- ALPMANN, D., B.C. SCHÄFER, 2014: Der Wert von Körnerleguminosen im Betriebssystem. UFOP-PRAXISINFORMATION. Berlin, ufop. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V.

- AMI, 2019: Marktbilanz Getreide, Ölsaaten, Futtermittel 2019. Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH. Rheinbreitbach: 227.
- BAHRS, E., 2018: Wie entwickeln sich die deutschen Fruchtfolgen. Getreide Magazin 23 (5), 40-42.
- BEER, H., L. KOTTMANN, 2020: Ackerbaustrategie 2035 des BMEL. Journal für Kulturpflanzen 72 (7), xxx-xxx, DOI: 10.5073/JfK.2020.07.xx.
- GROSS, J., O. ZIMMERMANN, 2019: Der Verlust der Insektenvielfalt – ein Kommentar der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie. Natur und Landschaft 6/7, 304-305.
- HERBST, F., L. SCHMIDT, W. MERBACH, 2017: Die Entwicklung des Ertragsniveaus im „Ewigen Roggenanbau“ in Halle/S. seit 1879. Journal für Kulturpflanzen 69 (9), 189-197, DOI: 10.5073/JfK.2017.06.01.
- KTBL, 1999: Betriebsplanung Landwirtschaft 1999/2000; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2002: Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2004: Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2006: Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/2007; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2008: Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/2009; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2010: Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/2011; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2012: Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/2013; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2014: Betriebsplanung Landwirtschaft 2014/2015; Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL, 2016: Betriebsplanung Landwirtschaft; 2016/2017 Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- LFL, 2019: Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Access: 13.06.2019, URL: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html?sessionid=6AD84A345055911BF91BD60E2ACED8BF>.
- LFL, 2020: Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Access: 3.3.2020, URL: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html?sessionid=6AD84A345055911BF91BD60E2ACED8BF>.
- MUßHOFF, O., N. HIRSCHAUER, 2016: Modernes Agrarmanagement. Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. 4. Auflage München, Verlag Franz Vahlen.
- PREISSEL, S., M. RECKLING, N. SCHLÄFKE, P. ZANDER, 2015: Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. Field Crops Research 175, 64-79, DOI: 10.1016/j.fcr.2015.01.012.
- SCHROERS, J.O., N. SAUER, 2011: KTBL. Die Leistungs-Kostenrechnung in der landwirtschaftlichen Betriebsplanung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. KTBL.
- SCHWARZ, J., T. FEIKE, B. FREIER, M. JAHN, H. KEHLENBECK, B. KLOCKE, S. KÜHNE, B. PALLUTT, J. SALTZMANN, C. WAGNER, U. WITTCHEN, 2015: 20 Jahre Dauerfeldversuche am Standort Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts, Journal für Kulturpflanzen, 67 (12), 389-403, DOI: 10.5073/JfK.2015.12.01.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2001: Statistisches Jahrbuch 2001 für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2006: Preisindizes für die Land- und Forstwirtschaft Dezember 2005. Fachserie 17, Reihe 1. Wiesbaden, Destatis.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011: Preisindizes für die Land- und Forstwirtschaft Dezember 2010. Fachserie 17, Reihe 1. Wiesbaden, Destatis.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2012: Preisindizes für die Land- und Forstwirtschaft März 2012. Fachserie 17, Reihe 1. Wiesbaden, Destatis.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013: Preisindizes für die Land- und Forstwirtschaft Dezember 2012. Fachserie 17, Reihe 1. Wiesbaden, Destatis.
- STEVENS, K., P. ZERHUSEN-BLECHER, B.C. SCHÄFER, J. BRAUN, 2018: Erbse und Bohne - das Plus für Ihre Fruchtfolge. Top Agrar 3, 68-73.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Til Feike¹, Ludwig Riedesel Freiherr zu Eisenbach¹, Robin Lieb¹, Doreen Gabriel², Dima Sabboura¹, Ashifur Rahman Shawon¹, Max Wetzel¹, Bettina Klocke¹, Sandra Krengel-Horney¹, Jürgen Schwarz¹

Einfluss von Pflanzenschutzstrategie und Bodenbearbeitung auf den CO₂-Fußabdruck von Weizen

Impact of plant protection strategy and soil tillage on the carbon footprint of wheat

311

Zusammenfassung

Der Klimaschutz liegt aufgrund der zunehmenden negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die pflanzliche Produktion im Eigeninteresse der Landwirtschaft. Welche Auswirkungen unterschiedliche Pflanzenschutzstrategien, der Verzicht auf Fungizide sowie eine reduzierte Bodenbearbeitung auf die Klimawirkung der Weizenproduktion haben wurde aufbauend auf einem Dauerfeldversuch in Dahnsdorf in 2008–2019 untersucht. Die Bewertung wurde mittels partieller Lebenszyklus (LCA) durchgeführt. Im Durchschnitt über sämtliche Versuchsvarianten und Jahre lagen die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) bei 3002 kg CO₂eq ha⁻¹ und der CO₂-Fußabdruck (CFP) bei 0,53 kg CO₂eq kg⁻¹. Obwohl die Varianten mit wendender Bodenbearbeitung signifikant höhere THG-Emissionen je ha aufwiesen, waren ihre CFPs nicht signifikant höher als die der nicht-wendenden Varianten. Die ertragssichernde Wirkung der Fungizide führte zu verringerten CFPs. Signifikante Jahresunterschiede zeigten sich bei allen drei untersuchten Parametern. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer Bewertung über längere Zeitreihen und den besonderen Wert von Langzeitversuchen.

Stichwörter: Klimaschutz, THG-Emissionen, LCA, Fungizid, integrierter Pflanzenschutz, Pflug

Abstract

Climate protection is in the self-interest of agriculture due to the increasing negative effects of climate change on crop production. The effects of different crop protection strategies, the non-usage of fungicides, and reduced tillage were assessed regarding climate impact of wheat production based on a long-term field trial in Dahnsdorf in 2008–2019. The assessment was carried out using a partial life cycle assessment (LCA). On average across all treatments and years, greenhouse gas (GHG) emissions were 3002 kg CO₂eq ha⁻¹ and carbon footprint (CFP) was 0.53 kg CO₂eq kg⁻¹. Although the treatments with plow caused significantly higher GHG emissions per hectare, their CFPs were not significantly higher than those of the non-plowed treatments. The yield-securing effects of fungicides led to reduced CFPs. Significant differences between years were evident for all three parameters examined. This underlines the need for an evaluation over longer time series and the special value of long-term field trials.

Key words: climate protection, GHG emissions, LCA, fungicide, integrated pest management, plow

Affiliationen

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow¹

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig²

Kontaktanschrift

Dr. Til Feike, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: til.feike@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

9. Juni 2020

Einleitung

Der fortschreitende Klimawandel bildet eine der größten Herausforderungen für die landwirtschaftliche Produktion in Deutschland. Gleichzeitig trägt die Landwirtschaft substantiell zum Klimawandel bei. Zehn bis zwölf Prozent der globalen anthropogenen THG-Emissionen stammen aus der Landwirtschaft (SMITH et al., 2014). Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Pflanzenproduktion sind bereits jetzt spürbar. Für Weizen, die wichtigste Getreideart in Deutschland und Europa, sind eine Verschiebung der phänologischen Phasen sowie negative Ertragsauswirkungen durch Extremwetterereignisse zu beobachten (BÖNECKE et al., 2020). Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen haben in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen (LÜTTGER & FEIKE, 2018), und werden im Zuge des fortschreitenden Klimawandels auch zukünftig weiter zunehmen (SENAPATI et al., 2019), mit negativen Auswirkungen auf den Ackerbau. Ein Beitrag der landwirtschaftlichen Produktion zum Klimaschutz und eine entsprechende Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) ist daher dringend erforderlich.

Integrierte (bzw. konventionelle) Anbausysteme, die bei Weitem den größten Teil der landwirtschaftlichen Produktion und Landnutzung in Deutschland ausmachen, sind auf eine optimierte bedarfsgerechte Nährstoffversorgung sowie den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zum Schutz gegen pilzliche und tierische Schaderreger sowie Unkräuter ausgelegt. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wird in breiten Teilen der Öffentlichkeit jedoch zunehmend kritisch gesehen. Das Julius Kühn-Institut (JKI) forscht seit Jahren an Maßnahmen und Möglichkeiten zur Reduzierung des Risikos durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, unter anderem im Rahmen des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) (BMEL, 2017). Neue Initiativen wie „Towards a chemical Pesticide-free Agriculture“ sollen die Forschungsaktivitäten in diesem Bereich auf europäischer Ebene besser integrieren und die Forschung hierzu weiter voranbringen (INRAE, 2020).

Im Rahmen der angestrebten Reduzierung des Einsatzes chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel ist es essentiell Zielkonflikte möglichst gering zu halten. So kann der Verzicht auf den Einsatz von Totalherbiziden, wie den sehr kritisch diskutierten glyphosathaltigen Mitteln, zu einer erhöhten Intensität der Bodenbearbeitung führen. Dies wiederum kann einen erhöhten Energiebedarf der Pflanzenproduktion mit sich bringen (SCHWARZ, 2013) und zudem zu einem erhöhten Erosionsrisiko führen (PRAGER et al., 2010).

Um nachhaltige Pflanzenschutzstrategien zu entwickeln und mögliche Zielkonflikte über lange Zeiträume evaluieren zu können werden am Versuchsstandort Dahnsdorf seit 1995 Dauerfeldversuche durchgeführt. Da sich die Effekte einer Reduzierung bzw. eines Verzichts auf bestimmte Pflanzenschutzmittel, sowie eine Umstellung der Bodenbearbeitung erst nach Jahren ein-

stellen, und sich die Effekte auch jahres- bzw. witterungsbedingt unterschiedlich darstellen können, ist eine Betrachtung über lange Zeiträume für eine robuste Bewertung essentiell.

Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, basierend auf Produktionsdaten und Ertragsdaten eines Dauerfeldversuchs die Auswirkungen unterschiedlicher Pflanzenschutzstrategien, Fungizidvarianten und Bodenbearbeitungsvarianten auf die Klimawirkung der Weizenproduktion zu bewerten.

Material und Methoden

Versuchsbeschreibung

Die seit 1995 etablierten Dauerfeldversuche am Versuchsstandort Dahnsdorf im Südwesten Brandenburgs befassen sich vorrangig mit den langfristigen Auswirkungen verschiedener Pflanzenschutzstrategien. Der Standort weist einen lehmigen Sandboden mit einer mittleren Bodenwertzahl von 48 Punkten auf, sowie eine Jahresdurchschnittstemperatur von 9,6°C und einen mittleren Jahresniederschlag von 578 mm (1997–2019). Im Zuge einer Neuausrichtung wird im Versuch BS1 seit Herbst 2007 der Einfluss der Bodenbearbeitung als zusätzlicher Versuchsfaktor untersucht. Die in der vorliegenden Studie betrachteten Versuchsdaten des BS1 zum Winterweizen umfassen den Zeitraum der Ertragsjahre 2008–2019 und drei Versuchsfaktoren mit jeweils zwei Stufen:

1. Pflanzenschutzstrategie: GfP vs. IPS
2. Fungizidvariante: mit Fungizidanwendung vs. ohne Fungizidanwendung
3. Bodenbearbeitungsvariante: nicht-wendend (pfluglos) vs. wendend (Pflug)

Bei den Pflanzenschutzstrategien wird zwischen „GfP“ (bis 2013 als „Gute fachliche Praxis, seit 2014 als „Allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes“ betitelt) und „IPS“ (bis 2013 als „Integrierter Pflanzenschutz“, seit 2014 als „Sektor- und kulturartenspezifische Leitlinien des Integrierten Pflanzenschutzes“ betitelt) unterschieden. Bis 2013 wurde in der GfP Strategie der Pflanzenschutz nach praxisüblichen Gegebenheiten unter Einbeziehung der Hinweise der amtlichen Pflanzenschutzdienste durchgeführt. Seit Herbst 2013 wurden in GfP die Pflanzenschutzmittel nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes angewandt. Die Pflanzenschutzanwendungen erfolgen in beiden Strategien unter Berücksichtigung des Schwellenwertkonzeptes. In IPS wurde stets eine noch dezidiere und stärker situationsbezogene Dosierung nach Schwellenwerten sowie ein- bzw. mehrfache Anwendung reduzierter Aufwandmengen (Splitting) angewendet. Zudem werden seit Herbst 2013 in IPS Sorten mit einem höheren Resistenzniveau gewählt, während in GfP vorrangig auf praxisübliche Sorten mit hohem Ertragsniveau gesetzt wird. In beiden Varianten wurde im Weizen in 2008–2010 die

Sorte Brilliant und 2011–2013 die Sorte JB Asano angebaut. Seit 2014 wurde in GfP weiterhin die Sorte JB Asano und in IPS die Sorte Julius angebaut.

Der Weizen steht im Versuch in einer sechsgliedrigen Fruchtfolge aus Wintererbsen – Winterweizen – Winterroggen – Mais – Erbse – Triticale. Beim Versuchsdesign handelt es sich um eine randomisierte Spaltanlage mit fünf Wiederholungen. Bodenbearbeitung bildet den Hauptteilfaktor, während die anderen Versuchsfaktoren die Kleinteilstückfaktoren bilden.

Ein vierter Versuchsfaktor, der die Vorgeschichte des Dauerfeldversuchs vor 2007 hinsichtlich der damals im Getreide praktizierten vier Varianten „unbehandelte Kontrolle“, „mit Herbizid & ohne Fungizid“, „ohne Herbizid & mit Fungizid“, sowie „mit Herbizid & mit Fungizid“ abbildet, wurde in dieser Studie nicht berücksichtigt. Somit stehen zehn Wiederholungen je Versuchsvariante zur Verfügung. Der Einfluss des vierten Versuchsfaktors auf die Ziele der Untersuchung wird als vernachlässigbar angesehen, da es hier seit 2008 keinerlei Unterscheidung im Input-Management (Düngung, PS, etc.) gibt. Eine Berücksichtigung würde die Ergebnisdarstellung unnötig verkomplizieren. Eine umfassendere Beschreibung der Versuchsvarianten finden sich u.a. in KLOCKE et al. (2020), PALLUTT et al. (2010) und SCHWARZ (2013). Ein Überblick über die wesentlichen Parameter von Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz in den acht Versuchsvarianten ist in Tab. S1 gegeben.

Treibhausgasbilanzierung

Die THG-Emissionen und der CO₂-Fußabdruck (Carbon Footprint; CFP) beschreiben die Klimawirkung der pflanzlichen Produktion pro Landnutzungseinheit (in kg CO₂eq ha⁻¹) bzw. pro Einheit Erntegut (in kg CO₂eq kg⁻¹). Das (relative) Treibhauspotential (global warming potential, GWP) über einen 100 Jahreszeitraum wird für die drei relevanten Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) mit dem Faktor 1, 34 und 289 berücksichtigt, und entsprechend in CO₂-Äquivalente (CO₂eq) umgerechnet (MYHRE et al., 2013).

Die Studie nutzt eine partielle Lebenszyklusanalyse (life cycle assessment; LCA), d.h., die THG-Emissionen werden von der ursprünglichen Ressourcengewinnung bis zum Hof (farm gate), entsprechend DIN EN ISO 14040 umfänglich ermittelt (DIN, 2006). Die Kalkulationen erfolgten mittels eines selbsterstellten Bilanzierungsmodells in MS Excel. Die Systemgrenzen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Zur Bewertung der THG-Emissionen in den verschiedenen Versuchsvarianten wurden die tatsächlichen Überfahrten bzw. Arbeitsschritte, d.h., Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte, wie sie im Feldversuch erfolgten, parzellen- und jahresspezifisch herangezogen. Ebenso wurden die tatsächlichen Aufwendungen an Saatgut, Pflanzenschutzmittel und Düngemittel je Hektar berücksichtigt, sowie die tatsächlichen Erntemengen beim Drusch und Abtransport des Ernteguts zum Hof. THG Emissionen im Zusammenhang mit einer möglichen Trocknung und Lagerung wurden nicht berücksichtigt, und die Bilanz endet am Hof.

Um die Plausibilität und Praxisrelevanz der Bewertung zu erhöhen wurde ein Beispielbetrieb konstruiert (Tab. 1), auf dem die Weizenproduktion entsprechend der Arbeitsschritte und Aufwandmengen im Versuch angenommen wurde.

Sämtliche Dieserverbräuche wurden arbeitsgang- und parzellenspezifisch unter Berücksichtigung der wesentlichen Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch gemäß SCHREIBER (2006) kalkuliert. Dies umfasst die Berücksichtigung von Gewichtskraft, Zugkraft, und Schlupf. Hieraus wurden Nebenleistung, Fahrleistung und Motorleistung berechnet. Hierauf aufbauend konnte der spezifische Kraftstoffverbrauch individuell für die Fahrt auf der Straße und Arbeiten auf dem Feld kalkuliert werden. Bei Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte wurden die tatsächlichen Aufwand-, Ausbringungs- bzw. Erntemengen des Versuchs herangezogen und für die Bestimmung der Gewichtskräfte, Motorleistung inklusive Nebenleistungen und Anzahl Fahrten zwischen Hof und Feld kalkulatorisch berücksichtigt. Hier-

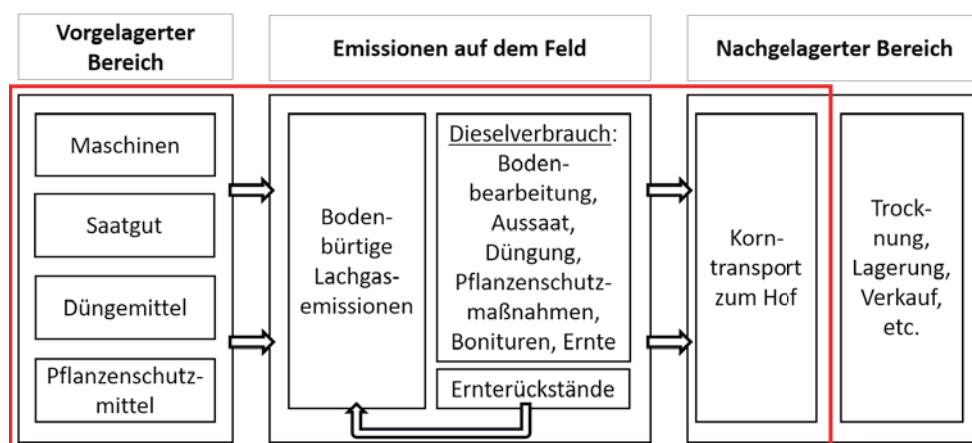


Abb. 1. Beschreibung der für die Treibhausgasbilanzierung verwendeten Systemgrenzen; sämtliche THG-Emissionen innerhalb des roten Rechtecks wurden berücksichtigt.

Tab. 1. Eckdaten des angenommenen Marktfruchtbetriebs inkl. des für den Weizenanbau genutzten Fuhrparks

Eckdaten	
Ackerfläche gesamt	500 ha
Schlaggröße betrachteter Weizenschlag	20 ha
Hof-Feld-Entfernung	4 km
Fuhrpark	
Traktoren	Traktor 310 PS Traktor 260 PS Traktor 210 PS Traktor 155 PS
Mähdrescher	Mähdrescher 354 PS
Teleskoplader	Teleskoplader 145 PS
Bodenbearbeitung	Scheibenegge (6,5 m) Stoppelgrubber (6 m) Grubber (4 m) Pflug (5 Schar) (+ Packer) Kreiselegge (4 m)
Saattechnik	Drillmaschine (4 m)
Düngetechnik	Anbaudüngerstreuer (3.200 l) Kalkstreuer (10.000 l)
Pflanzenschutz	Feldspritze (4.500 l)
Transport	2x Muldenkipper (28 m ³) Pick-up für Bonituren
Pflegetechnik	Mulcher (4 m)

aus ließen sich nun die Dieserverbräuche für die Feldarbeit, Wegstrecken und Befüllarbeiten berechnen. Zur Plausibilitätsprüfung wurden die Kalkulationsergebnisse mit dem KTBL-Dieselbedarfsrechner (KTBL, 2017) abgeglichen.

Für Diesel wurde ein Emissionsfaktor von 3,02 kg CO₂eq l⁻¹ angenommen (KTBL, 2019). Der Anteil der THG-Emissionen für die Herstellung der landwirtschaftlichen Maschinen an der Weizenproduktion, wurde gemäß KTBL (2019) vereinfacht über den Dieserverbrauch mit dem Faktor 0,885 kg CO₂eq l⁻¹ Diesel abgeschätzt. Dies ermöglicht die Zuordnung der THG-Emissionen für Maschinen- und Geräteherstellung für den betrachteten Weizenanbau anteilig zur gesamten Nutzungsdauer bzw. Arbeitsleistung. Die Bewertung der THG-Emissionen zur Herstellung und Transport der eingesetzten Düngemittel erfolgte über düngemittelspezifische Emissionsfaktoren (EFs; CO₂eq kg⁻¹). Ebenso wurden wirkstoffklassenspezifische EFs für die Bewertung

der Emissionen für Herstellung und Transport der eingesetzten Pflanzenschutzmittel genutzt (WERNET et al., 2016), und entsprechend der Wirkstoffanteile pflanzenschutzmittelspezifisch berücksichtigt. Für das Weizensaatgut wurde ein Emissionsfaktor von 0,8494 CO₂eq kg⁻¹ angesetzt (NEMECEK, 2017).

Die bodenbürtigen Lachgasemissionen im Zusammenhang mit der Weizenproduktion wurden entsprechend der Vorgaben des IPCC (2006) parzellen- und jahresspezifisch kalkuliert. Die direkten und indirekten Lachgasemissionen werden vorrangig durch die eingebrachte Menge an Stickstoff aus mineralischer und organischer Düngung bestimmt, die entsprechend der tatsächlichen Aufwandmengen im Versuch berücksichtigt wurde. Zusätzlich trägt der Stickstoffgehalt der ober- und unterirdischen Ernterückstände zu den Emissionen bei. Die Ernterückstände wurden in Abhängigkeit der erzielten Kornerträge entsprechend Tabelle 1 1.2 in IPCC (2006) kalkuliert und mit einem Verhältnis der unterirdischen

Rückstände zur oberirdischen Biomasse von 23% abgeschätzt. Die Stickstoffgehalte wurden mit $0,006 \text{ kg N (kg TM)}^{-1}$ für die oberirdischen Rückstände und $0,009 \text{ kg N (kg TM)}^{-1}$ für die unterirdischen Rückstände angenommen (IPCC, 2006).

Statistische Analyse

Die Versuchsdaten wurden mittels gemischter linearer Modelle mit dem Paket nlme in R (R CORE TEAM, 2020) analysiert. Hierbei wurden „Ertrag“, „THG-Emissionen“ und „CO₂-Fußabdruck“ als abhängige Variablen untersucht. Die Versuchsfaktoren „Pflanzenschutzstrategie“, „Fungizidanwendung“ und „Bodenbearbeitung“ wurden als fixe Effekte festgelegt, während der Block als zufällig angesehen wurde. Das Modell wurde mit der restricted maximum likelihood (REML) Methode geschätzt. Der Stichprobenumfang umfasst bei den drei Versuchsfaktoren mit je zwei Levels bei je zehn Wiederholungen über die zwölf Jahre 960 Beobachtungen. Der Faktor „Jahr“ wurde im ersten Schritt als zufälliger Effekt gewählt, um eine möglichst umfassende Aussage über den gesamten Versuchszeitraum von zwölf Jahren zu erhalten. Im zweiten Schritt wurde „Jahr“ als fixer Effekt gewählt, und die Effekte der drei Versuchsfaktoren jahresweise darzustellen und zu bewerten. Es wurden für alle drei abhängigen Variablen Modelle mit Haupteffekten und Interaktionen 1., 2. und (wenn möglich) 3. Ordnung gerechnet und jeweils eine schrittweise Rückwärtsselektion durchgeführt, bis nur noch Variablen und Interaktionsterme im Modell verblieben, die einen p-Wert $< 0,05$ aufwiesen. Multiple Mittelwertvergleiche wurden mit einem Tukey-Test und dem Paket emmeans durchgeführt. Da sowohl die Daten der THG-Emissionen als auch der CO₂-Fußabdrücke Varianzheterogenität aufwiesen, wurden diese für die Analyse log-transformiert.

Ergebnisse

Im Durchschnitt über die zwölf betrachteten Jahre und die zehn Wiederholungen je Variante liegen die THG-Emissionen zwischen minimal $2896 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ bei „GfP, ohne Fungizid, nicht-wendend“ und maximal $3143 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ bei „GfP, mit Fungizid, wendend“ (Abb. 2). Eine im Jahr 2013 über sämtliche Parzellen des Dauerfeldversuchs hinweg erfolgte Kalkung führt zu den einzelnen Emissionswerten größer $5000 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$. Betrachtet man die Effekte der drei Versuchsvarianten, so zeigt sich, dass über die zwölf Jahre gerechnet „GfP, mit Fungizid“ signifikant höhere Emissionen aufweist, als „IPS, mit Fungizid“, sowohl in der nicht-wendenden als auch in der wendenden Variante. Ohne Fungizide zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen GfP und IPS weder nicht-wendend noch wendend. Die wendende Bodenbearbeitung weist hingegen bei sämtlichen direkten Vergleichen, d.h., innerhalb „GfP, mit Fungizid“, „GfP, ohne Fungizid“, „IPS, mit Fungizid“, „IPS, ohne Fungizid“ stets signifikant höhere Emissionen auf. Die THG-Emissionen ordnen sich sowohl in der GfP-Strategie, als auch in der IPS-Strategie absteigend in der Reihenfolge: „mit Fungizid, wendend“, „ohne Fungizid, wendend“, „mit Fungizid, nicht-wendend“, „ohne Fungizid, nicht-wendend“. Bei IPS sind die Unterschiede stets signifikant, während sich bei GfP die Varianten „ohne Fungizid, wendend“ und „mit Fungizid, nicht-wendend“ nicht signifikant unterscheiden.

Die Durchschnittserträge je Variante reichen von maximal $75,2 \text{ dt ha}^{-1}$ bei „GfP, mit Fungizid, wendend“ bis minimal $60,3 \text{ dt ha}^{-1}$ bei „GfP, ohne Fungizid, nicht-wendend“ (Abb. 3). Es zeigt sich in beiden Strategien GfP und IPS ein abnehmender Ertrag in der Reihenfolge „mit Fungizid, wendend“, „mit Fungizid, nicht-wendend“,

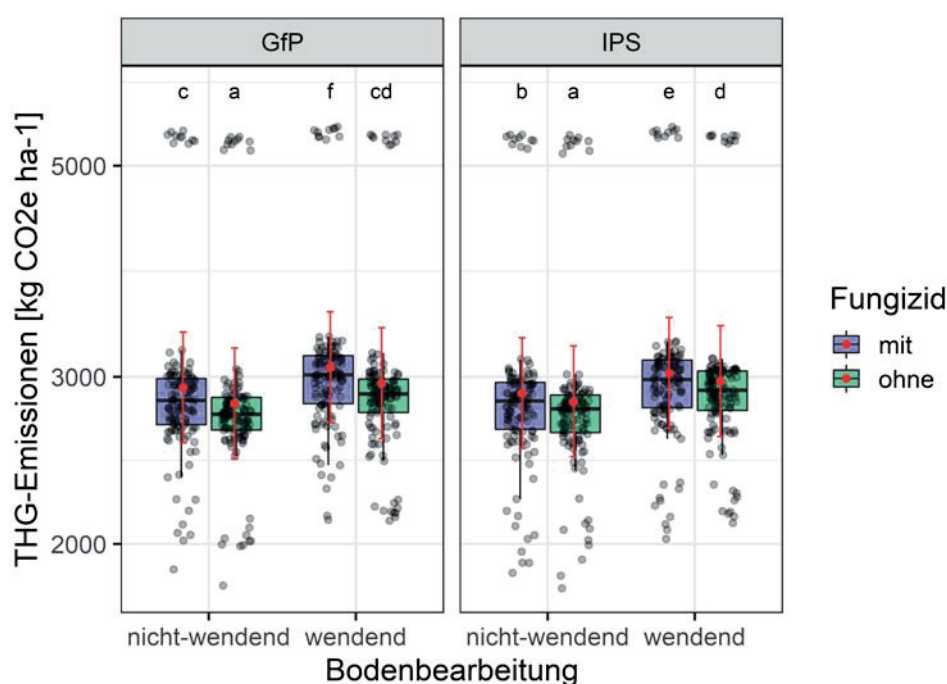


Abb. 2. Einfluss der drei Versuchsfaktoren Pflanzenschutzstrategie (GfP vs. IPS), Fungizidvariante (mit vs. ohne Fungizid) und Bodenbearbeitungsvariante (nicht-wendend vs. wendend) auf die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) der Weizenproduktion in Dahnsdorf in 2008–2019. Durch das Modell (s. Tab. S3) geschätzte Mittelwerte (Punkte) und das 95% Konfidenzintervall (Fehlerbalken) sind in rot gegeben. Die Daten wurden für die Analyse aufgrund Varianzheterogenität log-transformiert; entsprechend ist die Y-Achse log-skaliert. Gruppen die keinen Buchstaben teilen sind signifikant voneinander verschieden.

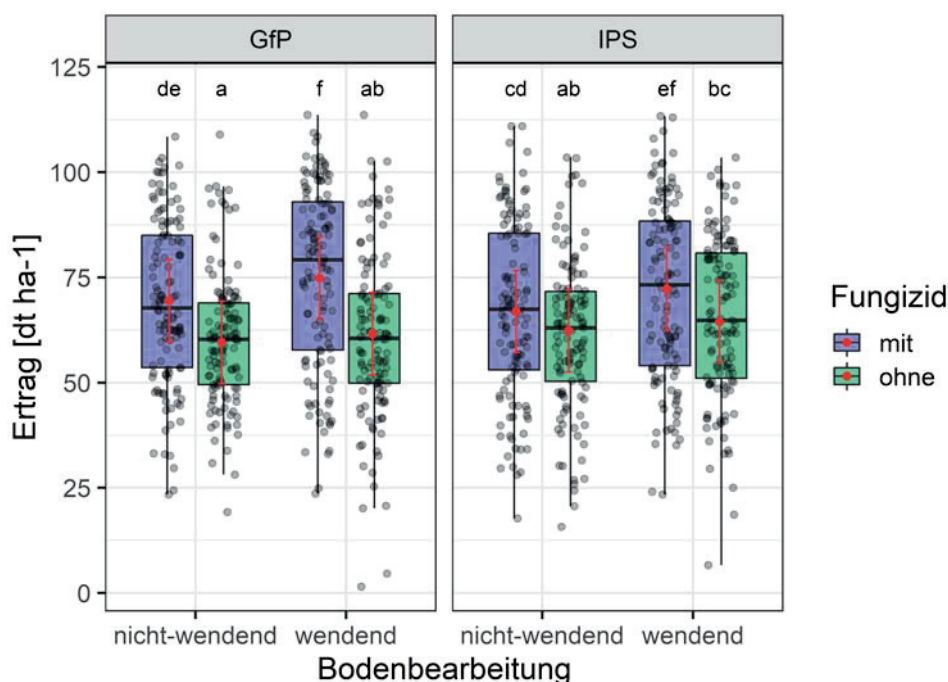


Abb. 3. Einfluss der drei Versuchsfaktoren Pflanzenschutzstrategie (GfP vs. IPS), Fungizidvariante (mit vs. ohne Fungizid) und Bodenbearbeitungsvariante (nicht-wendend vs. wendend) auf den Ertrag in 2008–2019. Durch das Modell (s. Tab. S3) geschätzte Mittelwerte (Punkte) und das 95% Konfidenzintervall (Fehlerbalken) sind in rot gegeben. Gruppen die keinen Buchstaben teilen sind signifikant voneinander verschieden.

„ohne Fungizid, wendend“, „ohne Fungizid, nicht-wendend“. Die Unterschiede sind hierbei stets signifikant bis auf „ohne Fungizid, wendend“ vs. „ohne Fungizid, nicht-wendend“ in GfP sowie in IPS „mit Fungizid, nicht-wendend“ vs. „ohne Fungizid, wendend“ und „ohne Fungizid, wendend“ vs. „ohne Fungizid, nicht-wendend“. Im Vergleich von GfP und IPS zeigen sich keine signifikanten Ertragsunterschiede in den entsprechenden Vergleichsvarianten von Fungizidvariante und Bodenbearbeitung. Die wendenden Varianten erzielten „mit Fungizid“ signifikant höhere Erträge im Vergleich zu den nicht-wendenden Varianten in beiden Pflanzenschutzstrategien, während sich ohne Fungizide keine signifikanten Unterschiede zwischen „nicht-wendend“ und „wendend“ zeigen.

Der CO₂-Fußabdruck reicht im Mittel über die zwölf Jahre und zehn Wiederholungen je Variante von minimal 0,47 kg CO₂eq kg⁻¹ bei „GfP, mit Fungizid, wendend“ bis 0,71 kg CO₂eq kg⁻¹ bei „GfP, ohne Fungizid, wendend“ (Abb. 4). Die einzelnen hohen Werte über 3 kg CO₂eq kg⁻¹ sind maßgeblich auf sehr niedrige Erträge in einzelnen Parzellen in 2011 zurückzuführen.

Im Vergleich von GfP und IPS zeigen sich beim CO₂-Fußabdruck keine signifikanten Unterschiede in den entsprechenden Vergleichsvarianten von Fungizidvariante und Bodenbearbeitung. Ebenso zeigen sich im Vergleich der wendenden und nicht-wendenden Varianten keine signifikanten Unterschiede beim CO₂-Fußabdruck in den entsprechenden Vergleichsvarianten von Pflanzenschutzstrategie und Fungizidvariante. Hingegen führt der Verzicht auf Fungizide in allen Vergleichsvarianten von Pflanzenschutzstrategie und Bodenbearbeitung zu signifikant höheren, d.h., schlechteren CO₂-Fußabdrücken. Lediglich die Variante „IPS, nicht-wendend“ weist ohne Fungizid keinen signifikant schlechteren CO₂-Fuß-

abdruck auf, verglichen mit „IPS, mit Fungizid, wendend“ und „IPS, mit Fungizid, nicht-wendend“. Trotz der signifikant höchsten THG-Emissionen je ha zeigt die „intensivste“ Variante „GfP, mit Fungizid, wendend“ mit 0,47 kg CO₂eq kg⁻¹ die geringsten Emissionen je Einheit Erntegut. Die signifikant höheren erzielten Erträge verglichen mit „extensiveren“ Varianten überkompensieren hier die höheren Emissionen.

Betrachtet man den mittleren Beitrag der verschiedenen Emissionsquellen zu den THG-Emissionen der acht untersuchten Versuchsvarianten (Abb. 5), so leisten die eingesetzten Düngemittel mit 1304,0 kg CO₂eq ha⁻¹, sowie die Lachgasemissionen, die zwischen 1243,6 kg CO₂eq ha⁻¹ (GfP, ohne Fungizid, nicht-wendend) und 1350,4 kg CO₂eq ha⁻¹ (GfP, mit Fungizid, wendend) den höchsten Beitrag. Die Düngung wurde über alle Versuchsvarianten identisch durchgeführt. Der durch Düngemittel eingebrachte Stickstoff trägt daher im gleichen Maß zu den Lachgasemissionen der verschiedenen Varianten bei. Die Unterschiede zwischen den Varianten ergeben sich durch unterschiedliche Erntemengen und daraus resultierende unterschiedliche Ernterückstandsmengen und entsprechende N-Einträge.

Im Dieserverbrauch zeigen sich die größten Unterschiede zwischen den gepflügten und nicht-wendenden Varianten mit rund 90 kg CO₂eq ha⁻¹ geringeren Emissionen in den nicht-wendenden Varianten. Die größten Emissionen mit 288,2 kg CO₂eq ha⁻¹ weist die Variante „GfP, mit Fungizid, wendend“ auf, während die Variante „GfP, ohne Fungizid, nicht-wendend“ mit 180,0 kg CO₂eq ha⁻¹ die geringsten Emissionen aufweist. Der Verzicht auf Fungizide und die entsprechenden Überfahrten führt über die verschiedenen Varianten zu geringeren Emissionen beim Dieserverbrauch von 12–25 kg CO₂eq ha⁻¹. Da die Emissionen für die Herstellung der Maschi-

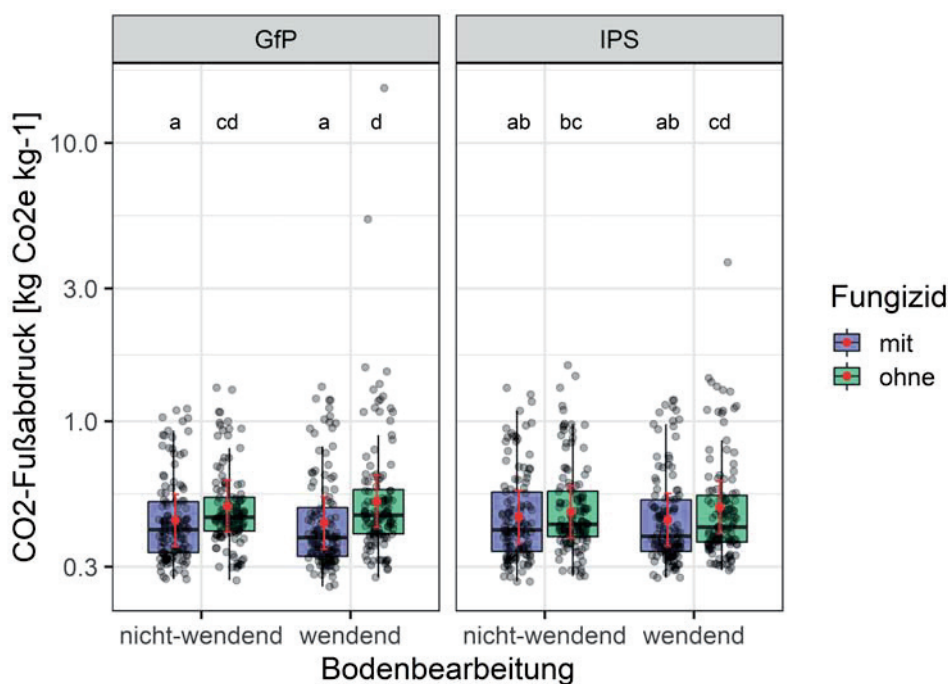


Abb. 4. Einfluss der drei Versuchsfaktoren Pflanzenschutzstrategie (GfP vs. IPS), Fungizidvariante (mit vs. ohne Fungizid) und Bodenbearbeitungsvariante (nicht-wendend vs. wendend) auf den CO₂-Fußabdruck der Weizenproduktion in Dahnsdorf in 2008–2019. Durch das Modell (s. Tab. S3) geschätzte Mittelwerte (Punkte) und das 95% Konfidenzintervall (Fehlerbalken) sind in rot gegeben. Die Daten wurden für die Analyse aufgrund Varianzheterogenität log-transformiert; entsprechend ist die y-Achse log-skaliert. Gruppen die keinen Buchstaben teilen sind signifikant voneinander verschieden.

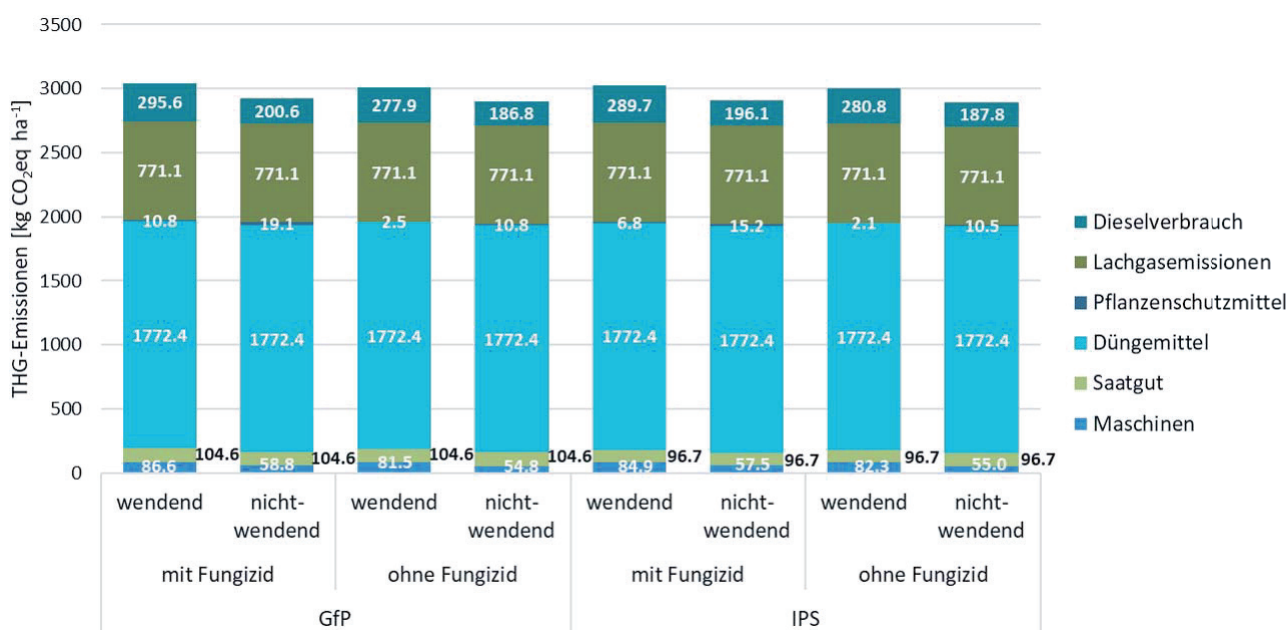


Abb. 5. Zusammensetzung der durchschnittlichen THG-Emissionen der Weizenproduktion unter Einfluss der drei Versuchsfaktoren Pflanzenschutzstrategie (GfP vs. IPS), Fungizidvariante (mit vs. ohne Fungizid) und Bodenbearbeitungsvariante (nicht-wendend vs. wendend) in 2008–2019.

nen direkt aus dem Dieserverbrauch abgeleitet werden, sind die Ergebnis analog zu den Emissionen aus dem Dieserverbrauch, nur auf einem niedrigeren Niveau. Die Spanne reicht von 52,8 kg CO₂eq ha⁻¹ bei „GfP, ohne Fungizid, nicht-wendend“ bis 84,5 kg CO₂eq ha⁻¹ bei „GfP, mit Fungizid, wendend“.

Bei den Emissionen für das Saatgut weist GfP aufgrund höherer Tausendkorngewichte des verwendeten Saatguts leicht höhere Emissionen auf, verglichen mit IPS.

Die Emissionen für die Herstellung der Pflanzenschutzmittel liegt auf einem niedrigen Niveau zwischen maximal 19,2 kg CO₂eq ha⁻¹ bei „GfP, mit Fungizid, nicht-wendend“ und minimal 2,1 kg CO₂eq ha⁻¹ bei „IPS, ohne Fungizid, wendend“. In GfP liegen die Werte stets unter den entsprechenden Varianten in IPS. Die wendende Bodenbearbeitung zeigt geringere Emissionen verglichen mit der nicht-wendenden Variante. Der Verzicht auf Fungizide führt zu stark verringerten Werten.

Um die Unterschiede im Dieserverbrauch zwischen der nicht-wendenden und wendenden Variante genauer zu verstehen hilft es einen Blick auf die Annahmen zu den Dieserverbräuchen zu werfen (Tab. 2). Während die Stoppelbearbeitung und Saatbettbereitung in beiden Varianten nahezu identisch erfolgte, wurde für Grundbodenbearbeitung in der Variante „nicht-wendend“ ein Grubber eingesetzt und in der Variante „wendend“ ein Pflug bzw. Pflug mit Packer. Der 5-Schar-Pflug mit 1,75 m Arbeitsbreite und 30 cm Bearbeitungstiefe benötigt 27,50 l Diesel ha⁻¹ und mit Packer 33,71 l Diesel ha⁻¹, während der Grubber mit 4 m Arbeitsbreite und 25 cm Bearbeitungstiefe mit 14,41 l ha⁻¹ nur ungefähr den halben Dieserverbrauch aufweist. Entsprechend sind die kalkulierten THG-Emissionen für den Dieserverbrauch und die anteilige Maschinen- und Geräteherstellung beim Grubber ebenfalls nur halb so hoch im Vergleich zum Pflug.

Betrachtet man die Unterschiede in den durch den Pflanzenschutz verursachten THG-Emissionen in Tab. 3, zeigen sich klare Effekte zwischen „wendend“ und „nicht-wendend“ sowie zwischen „mit Fungizid“ und „ohne Fungizid“. Bei der nicht-wendenden Variante liegen die THG-Emissionen durch den Herbizideinsatz fast dreimal so hoch im Vergleich zur gepflügten Variante. Bei der fungizidfreien Variante liegen die THG-Emissionen selbsterklärend bei null, während sie in den anderen Varianten zwischen ca. 10 und 18 kg CO₂eq ha⁻¹ liegen. Während die Emissionen in der IPS-Strategie im Vergleich zur GfP-Strategie bei den Herbiziden ungefähr gleich sind, betragen sie bei den Fungiziden ca. zwei Drittel und bei den Insektiziden ca. ein Drittel der Emissionen der GfP-Strategie. Bei den Wachstumsreglern gibt es keine Unterschiede aufgrund der identischen Behandlung über alle Varianten. Die Emissionen für die Bonituren liegen bei maximal 0,26 kg CO₂eq ha⁻¹ bei „GfP, mit Fungizid“ und sind in den fungizidfreien Varianten nahe null.

Neben dem direkten Beitrag von Pflanzenschutzmittelanwendungen zu den THG-Emissionen (Tab. 3), trägt

auch die ertragssichernde Wirkung des Fungizideinsatzes indirekt zu erhöhten THG-Emissionen bei, durch einen erhöhten Dieserverbrauch bei Drusch und Transport.

Betrachtet man die zeitliche Entwicklung der THG-Emissionen zwischen 2008 und 2019 so liegt das Niveau in den meisten Jahren bei rund 3000 kg CO₂eq ha⁻¹ (Abb. 6). Ausnahmen bilden 2013 mit wesentlich höheren und 2015 mit geringeren THG-Emissionen. Die Abweichungen in 2013 beruhen auf der Ausbringung von knapp 2 t ha⁻¹ Granukul 85, das bei einem EF von 1,5655 kg CO₂eq kg⁻¹ von Calciumcarbonat (WERNET et al., 2016) zu den entsprechend hohen Emissionen führt. In 2015 beruhen die Unterschiede auf dem Einsatz von Ammoniumsulfat-haltigem Stickstoffdünger, der einen EF von 2,0566 kg CO₂eq kg⁻¹ N aufweist, anstelle einer N-Gabe mit Kalkamonsalpeter (KAS) in allen anderen Jahren, der einen EF von 8,237 kg CO₂eq kg⁻¹ N aufweist (WERNET et al., 2016).

Die Effekte der drei Versuchsfaktoren differenzieren unterschiedlich über die Jahre. Während der Faktor Bodenbearbeitung in den Jahren 2008–2010 und 2015 die Unterschiede maßgeblich bestimmt, zeigen sich in 2011 und 2013 keinerlei Unterschiede zwischen den acht Versuchsvarianten. Betrachtet man den Effekt „mit Fungizid“ vs. „ohne Fungizid“ genauer, so zeigen sich in den Jahren 2008–2011, 2013, 2018 und 2019 keine Unterschiede zwischen den jeweiligen Vergleichsvarianten von Pflanzenschutzstrategie und Bodenbearbeitung. Hingegen zeigen sich 2017 signifikante Unterschiede zwischen allen entsprechenden Vergleichsvarianten, in 2012 und 2016 unterscheiden sich die beiden GfP-Varianten sowie die gepflügte IPS-Variante, während sich in 2014 und 2015 nur die GfP-Varianten und nicht die IPS-Varianten hinsichtlich der Fungizidvariante unterscheiden.

Verglichen mit den THG-Emissionen weisen die Erträge deutlichere Jahresunterschiede auf (Abb. 7). In guten Jahren reichen die Erträge im Durchschnitt über alle

Tab. 2. Annahmen zu verwendeten Zugmaschinen, Arbeitsbreiten, -tiefen, und -geschwindigkeiten bei den verschiedenen im Feldversuch eingesetzten Bodenbearbeitungsschritten, sowie die nach SCHREIBER (2006) kalkulierten Dieserverbräuche und nach IPCC (2006) und KTBL (2019) kalkulierten THG-Emissionen des Dieserverbrauchs und der Geräteherstellung (anteilig Zugmaschine + Anbau- bzw. Anhängegerät).

Geräte	Zugmaschine	Arbeitsbreite	Arbeitstiefe	Arbeitsgeschwindigkeit	Dieselverbrauch	THG-Emissionen	
						Dieselverbrauch	Geräteherstellung
	[kW]	[m]	[cm]	[km h ⁻¹]	[l ha ⁻¹]	[kg CO ₂ eq ha ⁻¹]	
Scheibenegge	154	6,5	5	13	3,61	10,90	3,19
Kreiselegge	154	4	5	7	11,76	35,51	10,41
Mulcher	102	4	--	13	9,20	27,78	8,14
Stoppelgrubber	195	6	10	11	6,52	19,70	5,77
Grubber	228	4	25	10	14,41	43,53	12,76
Pflug (5 Schar)	154	1,75	30	5	27,50	83,06	24,34
Pflug + Packer	195	1,75	30	5	33,71	101,80	29,83

Tab. 3. Durchschnittliche THG-Emissionen durch Pflanzenschutz in der Weizenproduktion unter Einfluss der drei Versuchsfaktoren Pflanzenschutzstrategie (GfP vs. IPS), Fungizidvariante (mit vs. ohne Fungizid) und Bodenbearbeitungsvariante (nicht-wendend vs. wendend) in 2008–2019.

Pflanzenschutzstrategie	GfP				IPS			
	mit Fungizid		ohne Fungizid		mit Fungizid		ohne Fungizid	
	nicht-wendend	wendend	nicht-wendend	wendend	nicht-wendend	wendend	nicht-wendend	wendend
Fungizidvariante	[kg CO ₂ eq ha ⁻¹]							
Bodenbearbeitung	[kg CO ₂ eq ha ⁻¹]							
Pflanzenschutz insgesamt	42.02	30.19	23.99	12.16	34.21	21.35	23.56	10.70
Herbizidmaßnahmen	19.10	7.26	19.10	7.26	19.74	6.88	19.74	6.88
Herstellung Mittel	9.83	1.53	9.83	1.53	9.52	1.16	9.52	1.16
Dieserverbrauch	7.17	4.43	7.17	4.43	7.91	4.43	7.91	4.43
Herstellung Maschinen	2.10	1.30	2.10	1.30	2.32	1.30	2.32	1.30
Fungizidmaßnahmen	17.79	17.79	0.00	0.00	10.42	10.42	0.00	0.00
Herstellung Mittel	8.25	8.25	0.00	0.00	4.70	4.70	0.00	0.00
Dieserverbrauch	7.38	7.38	0.00	0.00	4.43	4.43	0.00	0.00
Herstellung Maschinen	2.16	2.16	0.00	0.00	1.30	1.30	0.00	0.00
Insektizidmaßnahmen	1.62	1.62	1.62	1.62	0.56	0.56	0.56	0.56
Herstellung Mittel	0.19	0.19	0.19	0.19	0.08	0.08	0.08	0.08
Dieserverbrauch	1.11	1.11	1.11	1.11	0.37	0.37	0.37	0.37
Herstellung Maschinen	0.32	0.32	0.32	0.32	0.11	0.11	0.11	0.11
Wachstumsreglermaßnahmen	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
Herstellung Mittel	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
Dieserverbrauch	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84
Herstellung Maschinen	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
Bonituren	0.26	0.26	0.03	0.03	0.24	0.24	0.01	0.01
Dieserverbrauch	0.20	0.20	0.02	0.02	0.19	0.19	0.01	0.01
Herstellung Pick-up	0.06	0.06	0.01	0.01	0.06	0.06	0.00	0.00

Varianten auf über 80 dt ha⁻¹, während Sie in schlechten Jahren nur knapp über 50 dt ha⁻¹ und im Trockenjahr 2018 sogar nur knapp über 42 dt ha⁻¹ aufweisen. Die niedrigen Jahreserträge sind vornehmlich durch die Limitation an pflanzenverfügbarem Wasser bedingt. In 2013 hat ein Hagelschlag kurz vor der Ernte zudem zu Ertragsminderungen geführt.

In fünf von zwölf Jahren ergeben sich keinerlei signifikante Ertragsunterschiede zwischen den acht Varianten. Dies beinhaltet mit 2011, 2013, 2018 und 2019 die trockensten Jahre, in denen die Ertragswirkung des abiotischen Stresses die Wirkung der eigentlichen Versuchsfaktoren offensichtlich nicht zur Geltung kommen lässt. In 2008 lag das Ertragsniveau sehr hoch, jedoch weisen die Erträge der zehn Wiederholungen je Variante eine große Streuung auf, weshalb keine Effekte nachzuweisen sind. Ein ähnliches Bild zeigt sich in 2009, wo lediglich „GfP, mit Fungizid, wendend“ einen signifikant höheren Ertrag im Vergleich zu „IPS, ohne Fungizid, nicht-wendend“ aufweist. Der Faktor Bodenbearbeitung wirkt sich nur in vier von zwölf Jahren auf die Erträge aus. In 2012 und

2015 weisen die gepflügten Varianten jeweils höhere Erträge auf im Vergleich zur entsprechenden Vergleichsvariante aus Pflanzenschutzstrategie und Fungizidvariante. In 2009 und 2016 weisen die gepflügten Varianten nur mit Fungizideinsatz höhere Erträge auf als die nicht-wendenden Vergleichsvarianten. In fünf von zwölf Jahren zeigt sich eine signifikante Ertragswirkung des Fungizideinsatzes. In 2017 zeigen sämtliche Vergleichsvarianten aus Pflanzenschutzstrategie und Bodenbearbeitung „mit Fungizid“ höhere Erträge als „ohne Fungizid“. In 2016 ist es ähnlich, nur, dass sich die beiden „IPS, nicht-wendend“ Varianten ertraglich nicht hinsichtlich Fungizidvariante unterscheiden. In 2014 und 2015 ist unterscheiden sich lediglich die Vergleichsvarianten in GfP.

Während die CO₂-Fußabdrücke in den besten Jahren knapp über 0,3 kg CO₂eq kg⁻¹ liegen, steigen Sie in den Jahren mit niedrigem Ertragsniveau, d.h., 2011, 2013, 2018 und 2019 im Mittel auf über 0,5 kg CO₂eq kg⁻¹. In 2013 führten zudem die durch die Kalkung der Flächen erhöhten THG-Emissionen zu den höchsten CO₂-Fußabdrücken aller Jahre. In den Jahren 2008–2010 sowie

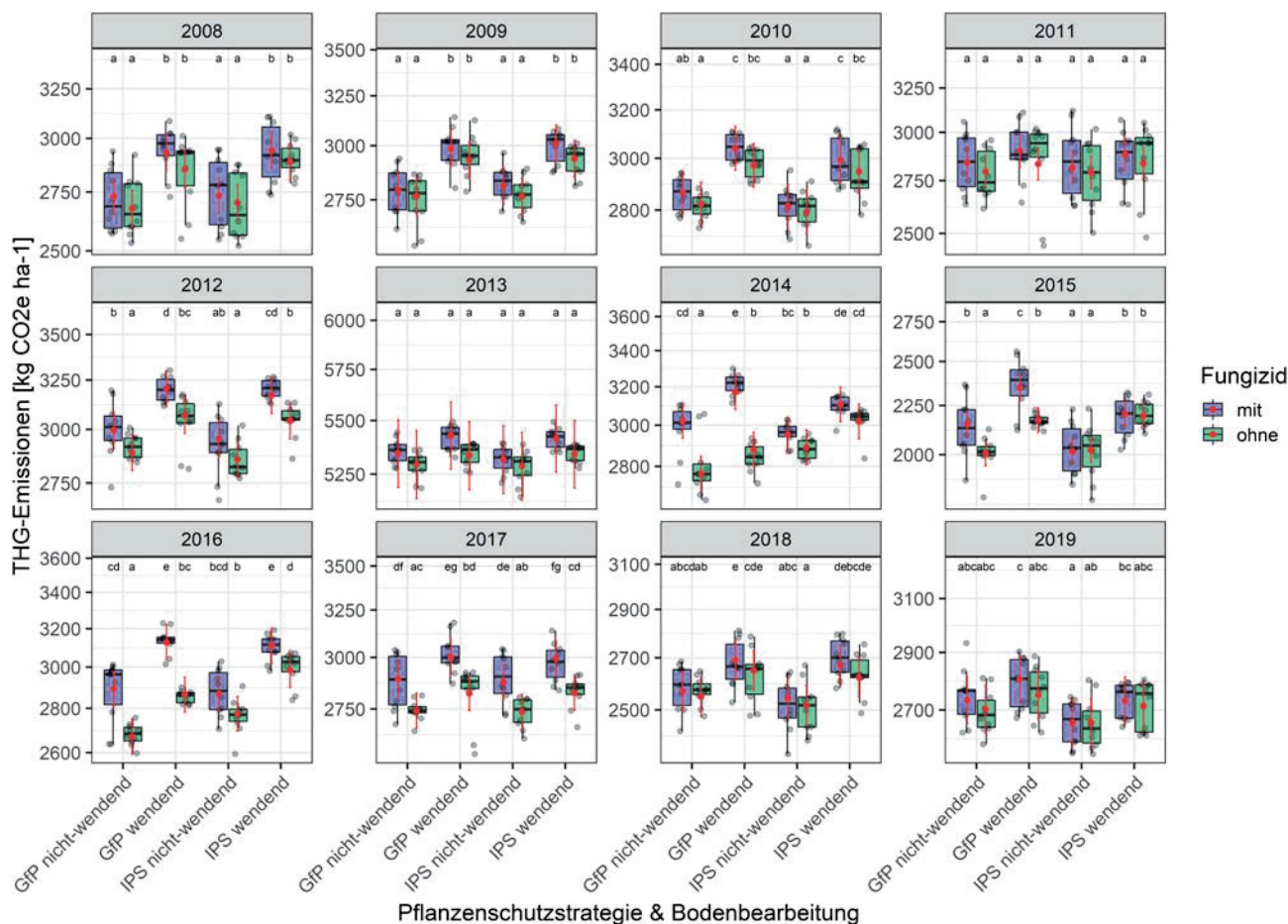


Abb. 6. Jahresspezifischer Einfluss der drei Versuchsfaktoren Pflanzenschutzstrategie (GfP vs. IPS), Fungizidvariante (mit vs. ohne Fungizid) und Bodenbearbeitungsvariante (nicht-wendend vs. wendend) auf die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) der Weizenproduktion in Dahnsdorf in 2008–2019. Durch das Modell (s. Tab. S2) geschätzte Mittelwerte (Punkte) und das 95% Konfidenzintervall (Fehlerbalken) sind in rot gegeben. Die Daten wurden für die Analyse aufgrund Varianzheterogenität log-transformiert; entsprechend ist die Y-Achse log-skaliert. Gruppen, die in einem Jahr keinen Buchstaben teilen sind in diesem Jahr signifikant voneinander verschieden.

2018 zeigen sich keinerlei Unterschiede zwischen den acht Versuchsvarianten.

Hinsichtlich des Effekts des Fungizideinsatzes zeigen sich in sieben von zwölf Jahren signifikant geringere, d.h., bessere CO₂-Fußabdrücke „mit Fungizid“ im Vergleich zu „ohne Fungizid“. In 2012, 2013 und 2015 zeigen sich die Vorteile nur in den Varianten „GfP, wendend“. In 2011, 2014, 2016 und 2017 zeigen sich die Vorteile von „mit Fungizid“ in allen Vergleichsvarianten bis auf in „IPS, nicht-wendend“.

Die Pflanzenschutzstrategien zeigen nur in drei von zwölf Jahren signifikante Effekte auf den CO₂-Fußabdruck. So schneidet in 2014 und 2016 GfP in der Variante „ohne Fungizid, wendend“ schlechter ab, als die Vergleichsvariante in IPS. In 2019 hingegen weist GfP in der Variante „mit Fungizid, nicht-wendend“ einen geringeren CO₂-Fußabdruck auf als die entsprechende Vergleichsvariante in IPS.

Der Faktor Bodenbearbeitung zeigt in vier von zwölf Jahren signifikante Effekte auf den CO₂-Fußabdruck. In 2011, 2013 und 2019 zeigt die wendende Variante in den Varianten „GfP, ohne Fungizid“ einen höheren CO₂-Fuß-

abdruck als die nicht-wendende Variante. Hingegen zeigt die gepflügte Variante in 2015 in „IPS, mit Fungizid“ einen geringeren CO₂-Fußabdruck als die nicht-wendende Variante.

Diskussion

Die Frage ob reduzierte Inputintensität im Weizenanbau – bzw. in der pflanzlichen Produktion insgesamt – eine sinnvolle Strategie im Zusammenhang mit dem Klimaschutz darstellt wird viel diskutiert. Die vorliegende Studie liefert hierzu Hinweise in Bezug auf die Bodenbearbeitung und den Pflanzenschutz am Standort Dahnsdorf. Zum einen zeigt sich, dass eine wendende Bodenbearbeitung nicht per se schlecht für den Klimaschutz sein muss. Zudem zeigt sich eindeutig, dass der Verzicht auf Fungizide negative Auswirkungen auf die Ertragssicherung und damit den CO₂-Fußabdruck des Weizens hat.

Im Vergleich der beiden Pflanzenschutzstrategien GfP und IPS zeigen sich nur geringe Effekte hinsichtlich CO₂-Fußabdruck. In der umfänglichen Bewertung über

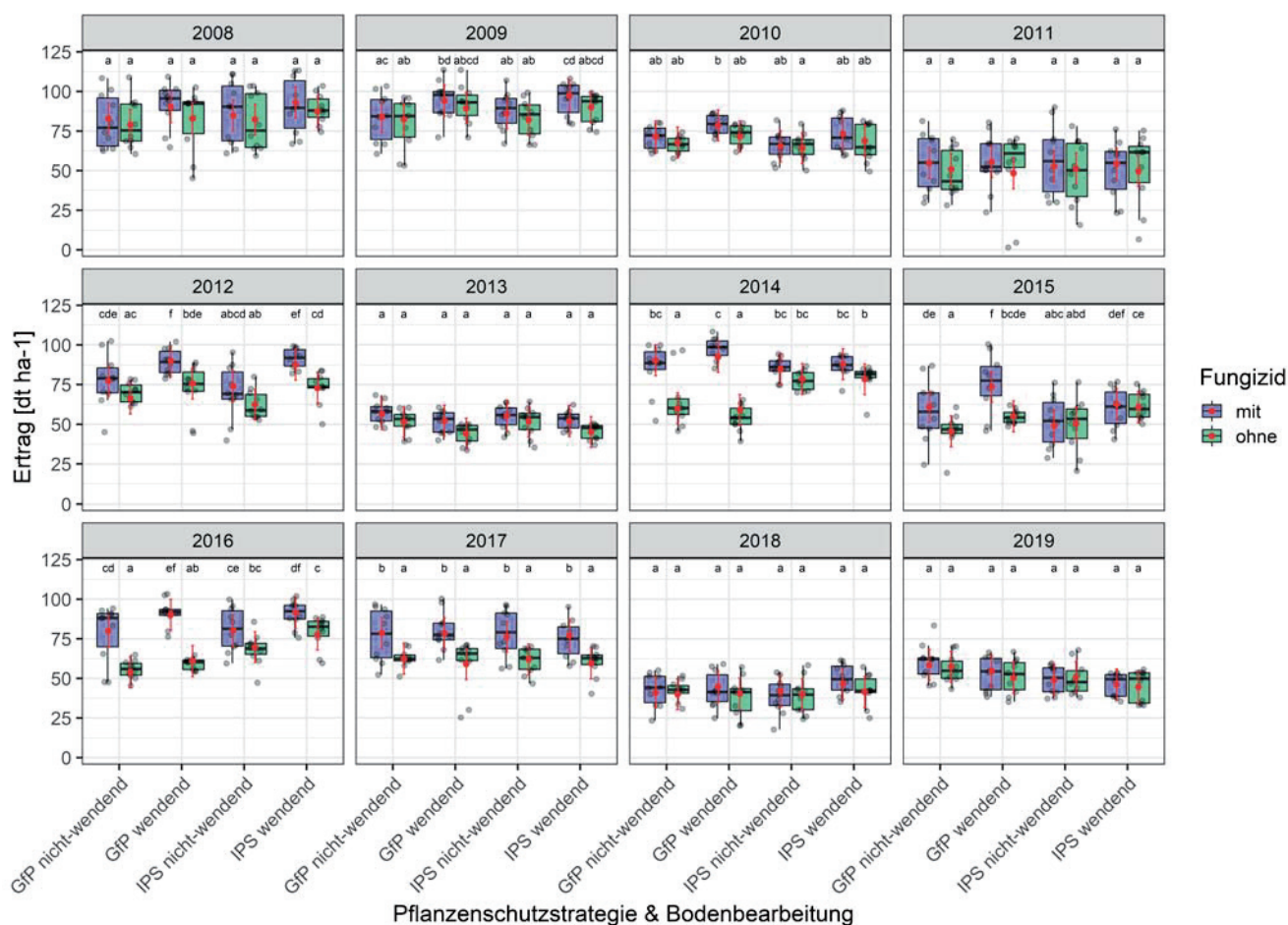


Abb. 7. Jahresspezifischer Einfluss der drei Versuchsfaktoren Pflanzenschutzstrategie (GfP vs. IPS), Fungizidvariante (mit vs. ohne Fungizid) und Bodenbearbeitungsvariante (nicht-wendend vs. wendend) auf die Erträge der Weizenproduktion in Dahnsdorf in 2008–2019. Durch das Modell (s. Tab. S2) geschätzte Mittelwerte (Punkte) und das 95% Konfidenzintervall (Fehlerbalken) sind in rot gegeben. Gruppen, die in einem Jahr keinen Buchstaben teilen sind in diesem Jahr signifikant voneinander verschieden.

den gesamten Versuchszeitraum (Abb. 4), unter Berücksichtigung von „Jahr“ als zufälligem Effekt im gemischtem Modell, zeigten sich keine signifikanten Effekte der Pflanzenschutzstrategie. Bei der jahresspezifischen Bewertung, unter Berücksichtigung von „Jahr“ als fixem Effekt im gemischtem Modell (Abb. 8), schnitt GfP im Vergleich zu IPS in der Variante „ohne Fungizid, wendend“ in zwei von zwölf Jahren schlechter ab. In einem Jahr schnitt GfP im Vergleich zu IPS in der Variante „mit Fungizid, nicht-wendend“ besser ab.

Der Verzicht auf Fungizide führte über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet (Abb. 4) in allen Varianten außer in „IPS, nicht-wendend“ zu einem signifikant erhöhten CO₂-Fußabdruck. In sieben von zwölf Jahren zeigten sich zudem Vorteile des Fungizideinsatzes hinsichtlich Klimaschutz (Abb. 8). Es zeigt sich zudem, dass die Nachteile des Verzichts auf Fungizide der Strategie IPS schwächer ausfallen als in GfP. Dies kann vorrangig durch die erhöhte Sortenresistenz in IPS gegenüber GfP erklärt werden. Eine tiefergehende Analyse zum Pathogenaufreten und ertragssichernden Effekt des Fungizideinsatzes in dem für die vorliegende Studie genutzten Feldversuch, findet sich in KLOCKE et al. (2020). Auch in

der Studie von WÓJCIK-GRONT (2018), die auf polnischen Sortenversuchsdaten aufbaut, zeigte sich der positive Beitrag des Fungizideinsatzes zum Klimaschutz, der vor allem über die Reduzierung der Ertragsvariabilität wirkte.

Die gepflügten Varianten zeigten trotz der in allen Varianten über den Gesamtzeitraum betrachtet signifikant erhöhten THG-Emissionen je Hektar (Abb. 2), keine signifikant höheren CO₂-Fußabdruck auf (Abb. 4). In der jahresspezifischen Betrachtung zeigte die gepflügte Variante in „GfP, ohne Fungizid“ in drei Jahren einen höheren CO₂-Fußabdruck als die nicht-wendende Variante. In einem Jahr wies die gepflügte Variante „IPS, mit Fungizid“ hingegen einen geringeren CO₂-Fußabdruck als die nicht-wendende Variante auf. Im Gegensatz hierzu stellte der Pflug in der Studie von HE et al. (2019) beim Weizenanbau auf dem chinesischen Löss-Plateau im Vergleich zu verschiedenen reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten sowohl bei den THG-Emissionen pro Fläche als auch beim CO₂-Fußabdruck die schlechteste Variante mit den höchsten Emissionen da. Auch bei ZHANG et al. (2016), die verschiedene Bodenbearbeitungsvarianten im dominanten Winterweizen-Mais-Doppelanbausystem in der Nordchinesischen Tiefebene untersuchten, wies die ge-

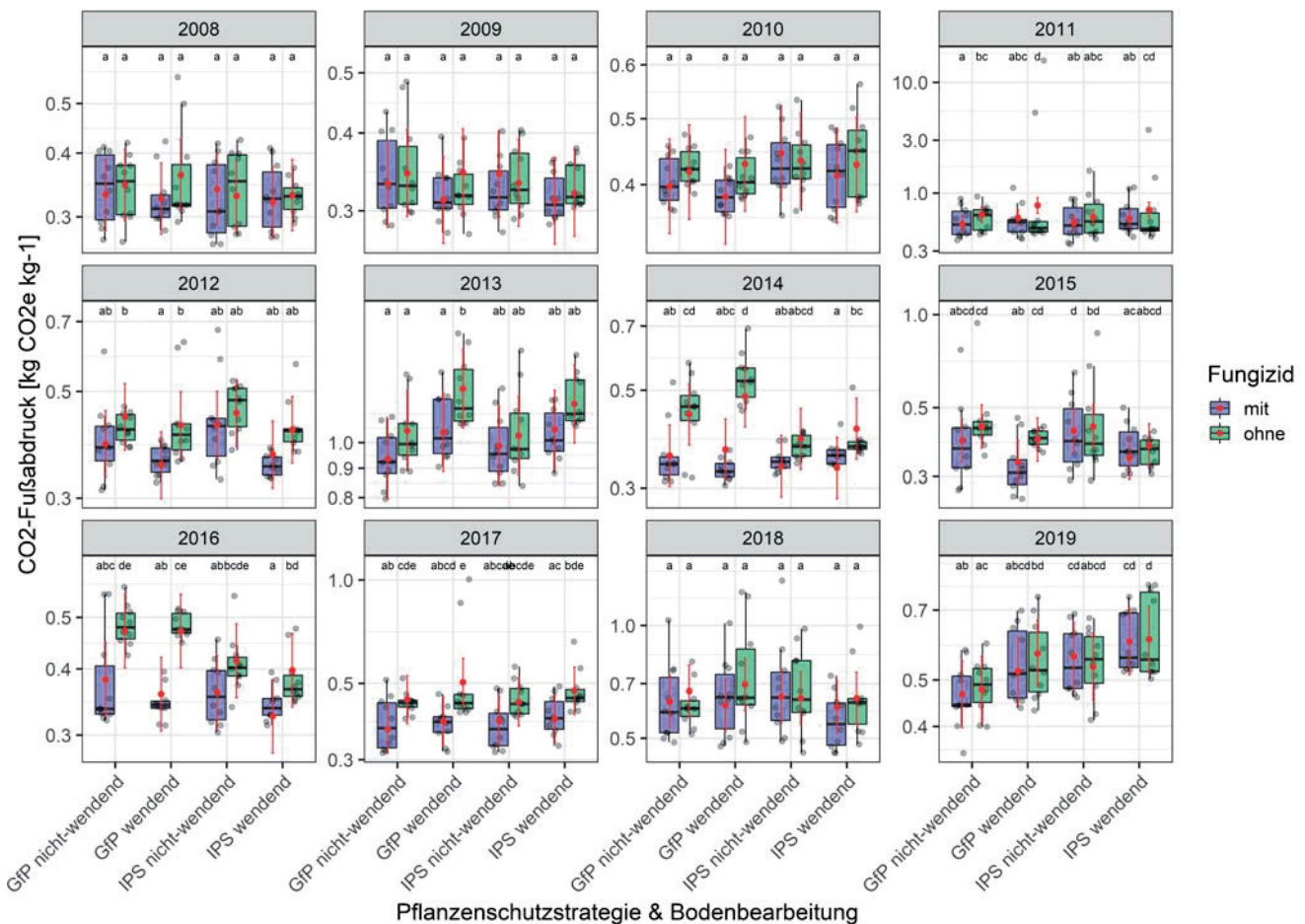


Abb. 8. Jahresspezifischer Einfluss der drei Versuchsfaktoren Pflanzenschutzstrategie (Gfp vs. IPS), Fungizidvariante (mit vs. ohne Fungizid) und Bodenbearbeitungsvariante (nicht-wendend vs. wendend) auf den CO₂-Fußabdruck der Weizenproduktion in Dahnsdorf in 2008–2019. Durch das Modell (s. Tab. S2) geschätzte Mittelwerte (Punkte) und das 95% Konfidenzintervall (Fehlerbalken) sind in rot gegeben. Die Daten wurden für die Analyse aufgrund Varianzheterogenität log-transformiert; entsprechend ist die Y-Achse log-skaliert. Gruppen, die in einem Jahr keinen Buchstaben teilen sind in diesem Jahr signifikant voneinander verschieden.

pflügte Variante die höchsten Emissionen mit durchschnittlich 4613 kg CO₂eq ha⁻¹ für den Weizen auf. Beim CO₂-Fußabdruck lagen die Werte der reduzierten und gepflügten Variante bei ZHANG et al. (2016) bei je ca. 0,65 kg CO₂eq kg⁻¹, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Die höheren Werte gegenüber der vorliegenden Studie, die im Mittel über alle Varianten und Jahre in Dahnsdorf bei 3002 kg CO₂eq ha⁻¹ bzw. 0,53 kg CO₂eq kg⁻¹ liegen, sind vorrangig durch den Energieeinsatz für die notwendige Bewässerung in China begründet.

Auch bei HA et al. (2015b) zeigten sich wesentlich höhere CO₂-Fußabdrücke der Weizenproduktion von durchschnittlich sogar 0,9 kg CO₂eq kg⁻¹. Da diese Studie auf Praxisdaten chinesischer Weizenbauern basiert, spielt hier neben der Bewässerung auch suboptimales Inputmanagement eine Rolle. Es zeigte sich in dieser Region jedoch auch, dass erhöhte Inputintensität nicht zu höheren CO₂-Fußabdrücken führt (HA et al., 2015a). Bei der Analyse von Produktionsdaten von 281 iranischen Weizenbauern lagen die Emissionen im nicht-bewässerten Weizenanbau bei vergleichsweise geringer Inputintensität bei 1600 kg CO₂eq ha⁻¹ und 0,55 kg CO₂eq kg⁻¹ (TAHMASEBI et al., 2018). Bei WÓJCIK-GRONT

(2018) lagen die CO₂-Fußabdrücke in den polnischen Sortenversuchen im Durchschnitt zwischen 0,33 kg CO₂eq kg⁻¹ bei niedrigem Ertragsniveau und nur 0,2 kg CO₂eq kg⁻¹ bei hohem Ertragsniveau. Für das Vereinigte Königreich errechneten TUOMISTO et al. (2012) einen CO₂-Fußabdruck für die konventionelle und ökologische Weizenproduktion von rund 0,36 kg CO₂eq kg⁻¹. TROST (2015) bewertete den konventionellen Weizenanbau basierend auf einem Feldversuch in Nordost-Deutschland mit rund 1200–1600 kg CO₂eq ha⁻¹ und einem CO₂-Fußabdruck von 0,35–0,4 kg CO₂eq kg⁻¹. In einer globalen Betrachtung kommen NEMECEK et al. (2012) auf mittlere THG-Emissionen von 2165 kg CO₂eq ha⁻¹ bei einer Standardabweichung von 1439 kg CO₂eq ha⁻¹ sowie einem CO₂-Fußabdruck von 0,2 bis 0,70 kg CO₂eq kg⁻¹.

Die Gründe für die Unterschiede in den Bewertungsergebnissen sind divers. Neben den Unterschieden in der Inputintensität spielen besonders bodenklimatische Unterschiede und entsprechende Unterschiede im Ertragspotential eine wichtige Rolle. Des Weiteren beeinflussen Unterschiede in den gewählten Emissionsfaktoren, d.h., die angenommenen CO₂eq je Einheit der jeweiligen Inputs, die Ergebnisse. Durch die Nutzung anerkannter

Datenbanken (IPCC, 2006; WERNET et al., 2016; KTBL, 2019) und allgemein akzeptierter Berechnungsverfahren (IPCC, 2006; MYHRE et al., 2013) versucht die vorliegende Studie Transparenz und Reproduzierbarkeit sicherzustellen.

Die Umfänglichkeit der vorliegenden Studie ist durch die Nicht-Berücksichtigung möglicher Veränderungen des Bodenkohlenstoffgehalts (C_{org} -gehalt) limitiert. Mögliche unterschiedliche Veränderungen des C_{org} -gehalts in verschiedenen Versuchsvarianten konnten so nicht berücksichtigt werden. Obwohl Erhebungsdaten hierzu vorliegen wurde von einer Berücksichtigung abgesehen, da der bewertete Weizen nur eines von sechs Fruchtfolgegliedern darstellt. Den Beitrag des Fruchtfolgeglieds Weizen auf mögliche Veränderungen im C_{org} -Gehalt über den Versuchszeitraum zu bewerten ist nicht zielführend möglich. Da ein substantieller Teil des Bodenkohlenstoffpools dem labilen Pool zuzuordnen ist, der innerhalb von Monaten bis wenigen Jahren umgesetzt wird (FAO, 2017), sind Veränderungen über einen Winterweizenzyklus vorrangig als Vorfruchteffekte anzusehen. Nichtsdestotrotz könnte eine Berücksichtigung der Veränderung im C_{org} -Gehalt die Bewertung, besonders im Hinblick auf wendende vs. nicht-wendende Bodenbearbeitung beeinflussen. Bei ZHANG et al. (2016) zeigte sich bei Berücksichtigung der Veränderungen im C_{org} -Gehalt eine deutliche stärkere Reduzierung des CO_2 -Fußabdrucks unter reduzierter Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflug.

Letztlich muss auch darauf hingewiesen werden, dass der Klimaschutz nur eines von mehreren ökologischen Nachhaltigkeitszielen darstellt. Im Hinblick auf die vorliegende Studie gilt dies vor allem für den Bodenschutz bzw. Erosionsschutz, der nicht betrachtet werden konnte, jedoch bzgl. Bodenbearbeitung durchaus von Bedeutung ist. Zudem könnte eine Bewertung des Risikos des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, wie dies von KRENGEL-HORNEY et al. (2020) für das Versuchsfeld Dahnsdorf durchgeführt wurde, ein umfassenderes Bild liefern, und helfen Zielkonflikte zu erkennen und aufzulösen.

Interessenskonflikte

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literatur

BMEL, 2017: Nationaler Aktionsplan zur Nachhaltigen Nutzung von Pflanzenschutzmitteln. Bonn, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: 99.

BÖNECKE, E., L. BREITSAMETER, N. BRUGGEMANN, T.W. CHEN, T. FEIKE, H. KAGE, K.C. KERSEBAUM, H.P. PIEPHO, H. STÜTZEL, 2020: Decoupling of impact factors reveals the response of German winter wheat yields to climatic changes. *Glob Chang Biol* 10.1111/gcb.15073, DOI: 10.1111/gcb.15073.

DIN, D.I.f.N.e.V., 2006: DIN EN ISO 14040. Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen, Berlin, Beuth Verlag GmbH.

FAO, 2017: Soil Organic Carbon: the hidden potential. Rome, Italy.

HA, N., T. FEIKE, E. ANGENENDT, H. XIAO, E. BAHRS, 2015a: Impact of farm management diversity on the environmental and economic performance of the wheat–maize cropping system in the North China Plain. *International Journal of Agricultural Sustainability* 13 (4), 350-366, DOI: 10.1080/14735903.2015.1004856.

HA, N., T. FEIKE, H. BACK, H. XIAO, E. BAHRS, 2015b: The effect of simple nitrogen fertilizer recommendation strategies on product carbon footprint and gross margin of wheat and maize production in the North China Plain. *Journal of Environmental Management* 163, 146-154, DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.08.014.

HE, L., A. ZHANG, X. WANG, J. LI, Q. HUSSAIN, 2019: Effects of different tillage practices on the carbon footprint of wheat and maize production in the Loess Plateau of China. *Journal of Cleaner Production* 234, 297-305, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.161.

INRAE, 2020: Alternatives to chemical pesticides: 24 European research institutes undertake an ambitious roadmap. Paris, France, National Research Institute for Agriculture, Food and Environment (INRAE).

IPCC, 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel for Climate Change.

KLOCKE, B., C. WAGNER, J. SCHWARZ, 2020: Erkenntnisse und Perspektiven eines 25-jährigen Dauerfeldversuches zum situationsbezogenen Pflanzenschutz gegen pilzliche Schaderreger im Winterweizen. *Journal für Kulturpflanzen* 72 (7), XX.

KRENGEL-HORNEY, S., J. STRASSEMAYER, J. SCHWARZ, 2020: Dauerfeldversuche zu Insektizidanwendungen im Winterraps – Was lernen wir aus 25 Jahren? *Journal für Kulturpflanzen* 72 (7), XX.

KTBL, 2017: KTBL-Dieseldarfsrechner. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.

KTBL, 2019: Berechnungsparameter Klimagasbilanzierung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.

LÜTTGER, A.B., T. FEIKE, 2018: Development of heat and drought related extreme weather events and their effect on winter wheat yields in Germany. *Theoretical and Applied Climatology* 132 (1-2), 15-29, DOI: 10.1007/s00704-017-2076-y.

MYHRE, G., D. SHINDELL, F.M. BRÉON, W. COLLINS, J. FUGLESTVEDT, J. HUANG, D. KOCH, J.F. LAMARQUE, D. LEE, B. MENDOZA, T. NAKAJIMA, A. ROBOCK, G. STEPHENS, T. TAKEMURA, H. ZHANG, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K., Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley, Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

NEMECEK, T., 2017: wheat seed production, for sowing, GLO, Allocation, cut-off by classification. ecoinvent database version 3.4.

NEMECEK, T., K. WEILER, K. PLASSMANN, J. SCHNETZER, G. GAILLARD, D. JEFFERIES, T. GARCÍA-SUÁREZ, H. KING, L. MILÀ I CANALS, 2012: Estimation of the variability in global warming potential of worldwide crop production using a modular extrapolation approach. *Journal of Cleaner Production* 31, 106-117, DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.03.005.

PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER, E. MOLL, 2010: Dauerfeldversuche auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautbekämpfung. *Journal für Kulturpflanzen* 62 (7), 238-247, DOI: 10.5073/JfK.2010.07.02.

PRAGER, K., N. HAGEMANN, J. SCHULER, N. HEYN, 2010: Incentives and Enforcement: The institutional design and policy mix for soil conservation in Brandenburg (Germany). *Land Degradation & Development*.

RCORE TEAM, 2020: R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.

SCHREIBER, M., 2006: Kraftstoffverbrauch beim Einsatz von Acker-schleppern im besonderen Hinblick auf CO_2 -Emissionen. PhD Thesis, Stuttgart, Universität Hohenheim, 182 p.

SCHWARZ, J., 2013: Energetische Betrachtung zum Einsatz von Herbiziden und Bodenbearbeitung. *Gesunde Pflanzen* 65 (1), 33-37, DOI: 10.1007/s10343-013-0295-4.

SENAPATI, N., P. STRATONOVITCH, M.J. PAUL, M.A. SEMENOV, 2019: Drought tolerance during reproductive development is important for increasing wheat yield potential under climate change in Europe. *Journal of Experimental Botany* 70 (9), 2549-2560, DOI: 10.1093/jxb/ery226.


SMITH, P., M. BUSTAMANTE, H. AHAMMAD, H. CLARK, H. DONG, E.A. ELSIDDIG, H. HABERL, R. HARPER, J. HOUSE, M. JAFARI, O. MASERA, C. MBOW, N.H. RAVINDRANATH, C.W. RICE, C. ROBLEDÓ ABAD, A. ROMANOVSKAYA, F. SPERLING, F. TUBIELLO, 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

- Change*. Eds.: Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. und S.S. Savolainen, C. von Stechow, T. Zwickel, J.C. Minx, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- TAHMASEBI, M., T. FEIKE, A. SOLTANI, M. RAMROUDI, N. HA, 2018: Trade-off between productivity and environmental sustainability in irrigated vs. rainfed wheat production in Iran. *Journal of Cleaner Production* **174**, 367-379, DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.305.
- TROST, B., 2015: Treibhausgasemissionen unter Bewässerung und unterschiedlicher Stickstoffdüngungsintensität auf einem Sandboden in Nord-Ost-Deutschland. Doktorarbeit, Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, 132 p.
- TUOMISTO, H.L., I.D. HODGE, P. RIORDAN, D.W. MACDONALD, 2012: Comparing global warming potential, energy use and land use of organic, conventional and integrated winter wheat production. *Annals of Applied Biology* **161** (2), 116-126, DOI: 10.1111/j.1744-7348.2012.00555.x.
- WERNET, G., C. BAUER, B. STEUBING, J. REINHARD, E. MORENO-RUIZ, B. WEIDEMA, 2016: The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment* **21** (9), 1218-1230, DOI: 10.1007/s11367-016-1087-8.
- WÓJCIK-GRONT, E., 2018: Variables influencing yield-scaled Global Warming Potential and yield of winter wheat production. *Field Crops Research* **227**, 19-29, DOI: 10.1016/j.fcr.2018.07.015.
- ZHANG, X.Q., C. PU, X. ZHAO, J.F. XUE, R. ZHANG, Z.J. NIE, F. CHEN, R. LAL, H.L. ZHANG, 2016: Tillage effects on carbon footprint and ecosystem services of climate regulation in a winter wheat-summer maize cropping system of the North China Plain. *Ecological Indicators* **67**, 821-829, DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.03.046.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Zusatzinformationen

Tab. S1. Überblick über pflanzenbauliche Maßnahmen je Versuchsvariante entsprechend der drei Versuchsfaktoren Pflanzenschutzstrategie (GfP vs. IPS), Fungizidvariante (mit vs. ohne Fungizid) und Bodenbearbeitungsvariante (nicht-wendend vs. wendend) in 2008–2019. Gegeben ist das arithmetische Mittel über die zwölf Versuchsjahre mit der entsprechenden Standardabweichung in Klammern.

Pflanzenschutzstrategie	GfP				IPS			
	mit Fungizid		ohne Fungizid		mit Fungizid		ohne Fungizid	
	nicht-wendend	wendend	nicht-wendend	wendend	nicht-wendend	wendend	nicht-wendend	wendend
Aussaat								
Saatgutmenge [kg ha ⁻¹]	195,5 (26,2)	195,5 (26,2)	195,5 (26,2)	195,5 (26,2)	180,7 (19,9)	180,7 (19,9)	180,7 (19,9)	180,7 (19,9)
Aussaatstärke [Körner m ⁻²]	340,8 (18,5)	340,8 (18,5)	340,8 (18,5)	340,8 (18,5)	340,8 (18,5)	340,8 (18,5)	340,8 (18,5)	340,8 (18,5)
Aufwandmengen Düngung								
Stickstoff [kg N ha ⁻¹]	141,0 (4,9)	141,0 (4,9)	141,0 (4,9)	141,0 (4,9)	141,0 (4,9)	141,0 (4,9)	141,0 (4,9)	141,0 (4,9)
Phosphor [kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹]	18,0 (42,2)	18,0 (42,2)	18,0 (42,2)	18,0 (42,2)	18,0 (42,2)	18,0 (42,2)	18,0 (42,2)	18,0 (42,2)
Kalium [kg K ₂ O ha ⁻¹]	36,2 (83,1)	36,2 (83,1)	36,2 (83,1)	36,2 (83,1)	36,2 (83,1)	36,2 (83,1)	36,2 (83,1)	36,2 (83,1)
Kalk [kg CaO ha ⁻¹]	138,7 (462,0)	138,7 (462,0)	138,7 (462,0)	138,7 (462,0)	138,7 (462,0)	138,7 (462,0)	138,7 (462,0)	138,7 (462,0)
Aufwandmengen Pflanzenschutz								
Herbizide [kg ha ⁻¹]	2,31 (0,98)	0,36 (0,40)	2,31 (0,98)	0,36 (0,40)	2,36 (0,94)	0,27 (0,31)	2,36 (0,94)	0,27 (0,31)
Fungizide [kg ha ⁻¹]	2,35 (1,15)	2,35 (1,15)	0,00 (0,00)	2,35 (1,15)	0,00 (0,00)	1,43 (0,66)	0,00 (0,00)	1,43 (0,66)
Insektizide [kg ha ⁻¹]	0,01 (0,03)	0,01 (0,03)	0,01 (0,03)	0,01 (0,03)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
Wachstumsregler [kg ha ⁻¹]	0,23 (0,30)	0,23 (0,30)	0,23 (0,30)	0,23 (0,30)	0,23 (0,30)	0,23 (0,30)	0,23 (0,30)	0,23 (0,30)
Überfahrten Pflanzenschutz								
Herbizide [Anzahl]	1,83 (0,37)	1,00 (0,00)	1,83 (0,37)	1,00 (0,00)	2,00 (0,41)	1,00 (0,00)	2,00 (0,41)	1,00 (0,00)
Fungizide [Anzahl]	1,67 (0,47)	1,67 (0,47)	0,00 (0,00)	1,67 (0,47)	0,00 (0,00)	1,00 (0,41)	0,00 (0,00)	1,00 (0,41)
Insektizide [Anzahl]	0,25 (0,43)	0,25 (0,43)	0,25 (0,43)	0,25 (0,43)	0,08 (0,28)	0,08 (0,28)	0,08 (0,28)	0,08 (0,28)
Wachstumsregler [Anzahl]	0,42 (0,50)	0,42 (0,50)	0,42 (0,50)	0,42 (0,50)	0,42 (0,50)	0,42 (0,50)	0,42 (0,50)	0,42 (0,50)

Tab. S2. Überblick über die in den gemischten Modellen für die drei abhängigen Variablen: Ertrag, THG-Emissionen und CO₂-Fußabdruck durch Rückwärtsselektion ausgewählte Erklärungsvariablen (BI = Pflanzenschutzstrategie; FUNG = Fungizidvariante; TILL = Bodenbearbeitungsvariante) und Interaktionsterme sowie die entsprechenden P-Werte. Block genested in Jahr wurde hierbei als zufällige Effekte berücksichtigt.

Unabhängige Variablen und Interaktionsterme	Abhängige Variablen		
	Ertrag	THG-Emissionen (log-transformiert)	CO ₂ -Fußabdruck (log-transformiert)
	P-Werte		
(Intercept)	<.0001	<.0001	<.0001
TILL	<.0001	<.0001	0.2211
BI	0.0142	<.0001	0.1341
FUNG	<.0001	<.0001	<.0001
BI:FUNG	0.0003	<.0001	0.0046
TILL:FUNG	0.0298		0.0166
TILL:BI			
TILL:BI:FUNG			

Tab. S3. Überblick über die in den gemischten Modellen für die drei abhängigen Variablen: Ertrag, THG-Emissionen und CO₂-Fußabdruck durch Rückwärtsselektion ausgewählte Erklärungsvariablen (BI = Pflanzenschutzstrategie; FUNG = Fungizidvariante; TILL = Bodenbearbeitungsvariante) und Interaktionsterme sowie die entsprechenden P-Werte. Jahr wurde hierbei als fixer Effekt und Block als zufälliger Effekt berücksichtigt.

Unabhängige Variablen und Interaktionsterme	Abhängige Variablen		
	Ertrag	THG-Emissionen (log-transformiert)	CO ₂ -Fußabdruck (log-transformiert)
	P-Werte		
(Intercept)	<.0001	<.0001	<.0001
TILL	0.0125	<.0001	0.7410
BI	0.4616	0.7055	0.7568
FUNG	0.0668	0.0190	0.0502
JAHR	<.0001	<.0001	<.0001
TILL:BI	0.5543	0.5641	0.1558
TILL:FUNG	0.0378	0.0932	0.0310
BI:FUNG	0.7895	0.6267	0.0107
TILL:JAHR	<.0001	<.0001	0.0002
BI:JAHR	0.1777	0.0012	0.0581
FUNG:JAHR	<.0001	<.0001	0.0148
BI:FUNG:JAHR	0.0046	0.0004	
TILL:BI:FUNG			
TILL:BI:JAHR			
TILL:FUNG:JAHR			
TILL:BI:FUNG:JAHR			

Nadine Herwig, Dieter Felgentreu, Bernd Hommel

Auswirkungen von natürlichen Standortbedingungen und ackerbaulichen Maßnahmen auf Bodenorganismen – Erhebungen in den Langzeitversuchen des Julius Kühn-Instituts in Dahnsdorf (Hoher Fläming, Land Brandenburg)

On the effects of natural site conditions and agricultural measures on soil organisms
– surveys in long-term experiments of the Julius Kühn-Institute in Dahnsdorf (Hoher Fläming, Land Brandenburg)

327

Zusammenfassung

Eine hohe Diversität von Bodenorganismen in Verbindung mit deren Ökosystemdienstleistungen nimmt ganz entscheidend Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit und damit die Kulturpflanzenerträge. Regenwürmer und Bodenmikroorganismen stellen für den Abbau des organischen Pflanzenmaterials und damit für die Nährstoffbereitstellung eine wichtige Rolle dar. Untersuchungen zum Schutz und zur Förderung dieser Organismen sind daher eine zentrale Aufgabe in vielen Langzeitversuchen. Erkenntnisse zu den Auswirkungen von natürlichen Standortfaktoren und ackerbaulichen Maßnahmen stehen dabei im Mittelpunkt. Die 5-jährigen Ergebnisse aus den Langzeitversuchen des Julius Kühn-Instituts in Dahnsdorf (Hoher Fläming, Land Brandenburg) zeigen, dass die Witterung und die Bodenbearbeitung viel stärkeren Einfluss auf die Regenwurmgesellschaften ausüben als Pflanzenschutzmaßnahmen. Besonders deutlich werden die Effekte der nichtwendenden Bodenbearbeitung auf die beiden Leitarten *Aporrectodea caliginosa* (endogäische Lebensform) und *Lumbricus terrestris* (anektische Lebensform). Neben diesen beiden Leitarten wurden auf dem Versuchsfeld, allerdings mit deutlich geringeren Abundanzen, noch die endo-anektische Art *Aporrectodea longa* und die beiden endogäischen Arten *Aporrectodea rosea* und *Allobophora*

chlorotica gefunden. Die Einarbeitung der Stoppel und der Strohrefte bei der wendenden Bodenbearbeitung verbessert das Nahrungsangebot für *A. caliginosa*, die darauf mit einer höheren Abundanz reagieren. Und umgekehrt scheint die nichtwendende Bodenbearbeitung die anektische Art *L. terrestris* zu fördern, weil das Nahrungsangebot auf dem Boden und der Erhalt der Röhren im Boden dieser Lebensform zugutekommen. Gut zu beobachten war, dass gute Witterungsbedingungen für einen hohen Winterweizenertrag einhergingen mit einer Zunahme der Abundanz aller Arten im Folgejahr. Oder umgekehrt, dass die extreme Trockenheit und die hohen Temperaturen im Jahr 2018 die Abundanz der Regenwurmgesellschaften nachhaltig reduziert haben. Die mittlere Artenanzahl und Anzahl der adulten Regenwürmer über alle Lebensformen und Varianten hinweg liegt mit 3,0 bzw. 58 Tieren pro m² nah am Referenzwert für „Ackerland auf Sand“ nach RÖMBKE et al. (2012). Weder für die Bodenbearbeitung noch für das Betriebssystem konnte innerhalb des 5-jährigen Untersuchungszeitraumes eine nachhaltige Änderung der Aktivität der Bodenmikroorganismen in den untersuchten Varianten nachgewiesen werden.

Stichwörter: Regenwürmer, Bodenmikroorganismen, Ökologischer Landbau, konventioneller Landbau, Langzeitversuch, Winterweizen, Bodenbearbeitung

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Berlin

Kontaktanschrift

Dr. Nadine Herwig, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Königin-Luise-Str. 19, 14195 Berlin-Dahlem, E-Mail: nadine.herwig@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

4. Juni 2020

Abstract

A high diversity of soil organisms in conjunction with their ecosystem services has a decisive influence on soil fertility and thus crop yields. Earthworms and soil microorganisms are of great importance for the degradation of plant material and thus for the provision of nutrients. Studies on the protection and promotion of these organisms are therefore of central importance in long-term experiments. Findings on the effects of natural site factors and agronomic measures are the focus of these studies. The 5-year results from the long-term experiment of the Julius Kühn-Institute in Dahnisdorf (Hoher Fläming, Land Brandenburg) show that weather and tillage have a much stronger influence on earthworm communities than plant protection measures. The effects of conservation tillage on the two indicator species *Aporrectodea caliginosa* (endogeic worm) and *Lumbricus terrestris* (anecic worm) are particularly clear. Furthermore the endo-anecic worm *Aporrectodea longa* and the endogeic worm *Aporrectodea rosea* and *Allobophora chlorotica* have been found but with less abundances. The incorporation of stubble and straw residues into the soil during tillage improves the food supply for *A. caliginosa*, which reacts with a higher abundance. And vice versa, conservation tillage seems to promote the anecic species *L. terrestris*, because the food supply on the soil and the preservation of the tubes in the soil benefit this life form. It was well observed that best weather conditions for a high wheat yield were accompanied by an increase in abundance of all species in the following year. Or, conversely, that the extreme drought and high temperatures in 2018 have sustainably reduced the abundance of earthworm communities – regardless of the crop system or tillage. The average number of species and adult earthworms across all life forms and variants is, at 3.0 and 58 animals per m² respectively, close to the reference value for “arable land on sand” according to RÖMBKE et al. (2012). With regard to soil microorganisms, neither tillage nor the crop system (conventional or organic) have been shown a sustainable change in the activity.

Key words: earthworms, soil microorganisms, organic farming, conventional farming, long-term experiment, winter wheat, tillage

Einleitung

Eine hohe Diversität von Bodenorganismen in Verbindung mit deren Ökosystemdienstleistungen nimmt Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit und damit die Kulturpflanzenerträge. Die Förderung und vor allem der Schutz dieser Organismen vor Auswirkungen ackerbaulicher Maßnahmen, wie Bodenbearbeitung, Fruchtfolgen, Düngung und Pflanzenschutz, stehen mit im Fokus bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Anbausystemen (EMMERLING & SCHRADER, 2016a).

Insbesondere unsere Hypothese, wonach eine geringe Bodenbearbeitungsintensität Regenwurmgesellschaften positiv beeinflusst (z.B. vom Pflug über Mulchsaaten bis hin zu Direktsaaten), ist bereits Inhalt relevanter Studien (SEITER et al., 2017; JÄNSCH et al., 2015; CRITTENDEN et al., 2014; JOHNSTON et al., 2015). Über detaillierte Erhebungen in Langzeitversuchen – wie in dieser Studie – können langfristige Effekte und die Qualität der Wiedererholung von durch ackerbauliche Maßnahmen gestörten biologischen Systemen gemessen und bewertet werden.

Voraussetzung dafür ist ein „bodenbiologisches Klassifikations- und Bewertungssystem“ mit dem Ziel Referenzzustände definieren zu können (RÖMBKE et al., 2012). Das Netzwerk Bodendauerbeobachtungsprogramm der Bundesrepublik Deutschland (BDF) hat das Ziel den Bodenzustand und dessen Veränderung durch äußere Einflüsse zu charakterisieren (RÖMBKE et al., 2012).

Viele Daten zur Diversität und Abundanz der Regenwurmfauna aus den regelmäßigen Erhebungen der BDF und an anderen Standorten werden in der Datenbank EDAPHOBASE (<https://portal.edaphobase.org/>) abgelegt und berücksichtigen typische Landnutzungssysteme und Bodenparameter, insbesondere pH-Wert, Textur und organische Substanz (JÄNSCH et al., 2013). Die Autoren der EDAPHOBASE berichten von 32 aufgenommenen Regenwurmartensorten, wovon 10 Arten sehr häufig in Deutschland vorkommen.

Für eine nachhaltige Bodenfruchtbarkeit spielen Mikroorganismen eine bedeutende Rolle. Sie sind am Auf-, Ab- und Umbau der organischen Substanz beteiligt und bilden so den Motor für den Nährstoffkreislauf im Boden (NANNIPIERI et al., 2002). Aus den Erfahrungen bei der Prüfung von Chemikalien und Pflanzenschutzmitteln hat sich eine Reihe von ökotoxikologischen Endpunkten bestätigt, die als biologische Indikatoren für Veränderungen und Störungen des Ökosystems Boden genutzt werden. Die in der sogenannten ökotoxikologischen Testbatterie zusammengefassten Labor-, Halbfreiland- und Freilanduntersuchungen erlauben eine biologische Charakterisierung von Böden und Bodensubstraten, die mit abiotischen Standortfaktoren verglichen werden können. Da diese Methoden zum großen Teil durch DIN/ISO oder VDLUFA genormt sind, lassen sich Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen gut miteinander vergleichen.

Das Ziel der Erhebungen zu den Bodenorganismen in Langzeitversuchen des Julius Kühn-Institutes in Dahnisdorf besteht darin, die Auswirkungen von ackerbaulichen Maßnahmen zu identifizieren und sie im Vergleich zu den natürlichen, wie Bodenparameter und Witterung, einzuordnen. Diese mehrjährigen Erhebungen des JKI in Dahnisdorf ergänzen mit kleinräumigen Detailuntersuchungen die Monitoringaktivitäten auf den BDF und spezifizieren die Effekte ackerbaulicher Maßnahmen auf Bodenorganismen. Daraus lassen sich robuste Handlungsoptionen für deren Schutz und Förderung ableiten.

Material und Methode

In den seit 25 Jahren laufenden Langzeitversuchen des JKI auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf (Hoher Fläming, Land Brandenburg) werden seit 2015 jährlich im April in der Parzelle „Winterweizen“ die Diversität und Abundanz der Regenwürmer erfasst. Die Parzelle „Winterweizen“ ist Teil einer 6-feldrigen Fruchtfolge mit wendender und pflugloser Bodenbearbeitung sowie mit verschiedenen Intensitäten eines chemischen Pflanzenschutzes. Die Fruchtfolge und die Intensität des Pflanzenschutzes entsprechen entweder (1) der im § 3 des Gesetzes zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz) geforderten guten fachlichen Praxis (GFP) oder (2) den Grundsätzen des Ökologischen Landbaus (ÖKO) mit einer hohen Intensität für die mechanische Unkrautkontrolle. Die Vorfrucht des Winterweizens ist Winterraps in den beiden GFP-Varianten und zweijähriger Anbau einer Luzerne-Kleegrass-Mischung in der ÖKO-Variante. Die drei Varianten sind somit (Abb. 1): (1) ÖKO gepflügt, (2) GFP gepflügt und (3) GFP pfluglos.

Regenwurmerhebungen

Für jede der drei Varianten wurden jährlich im April zwei Parzellen mit ähnlichem Sandgehalt und höchster Pflanzenschutzmittelintensität ausgewählt (Abb. 1). Aufgrund der hohen Sandgehalte in den Wiederholungen d und g von > 55% wurden in diesen Bereichen keine Beprobungen durchgeführt.

Für die Regenwurmerhebungen wurden je Wiederholung vier quadratische Löcher von 0,25 m² und 0,2 m Tiefe ausgegraben und die Regenwürmer über Handauslese des Bodens gesammelt (nach DIN EN ISO 23611-1:2011-09). Die Tiefengräber wurden anstatt mit dem auch heute noch häufig verwendeten Formaldehyd mit dem weniger umwelttoxischen AITC (Senföl, Allylthiocyanat, 100 mg AITC je Liter Wasser, 20 l Lösung je m²) mit einer Zeitdauer von 20 Minuten ausgetrieben. Erfasst wurden die Art, das Entwicklungsstadium „adult“ oder „juvenil“ und das Gewicht der Einzeltiere. Die taxonomische Bestimmung der adulten Regenwürmer erfolgte visuell. Die Auswertung in dieser Studie berücksichtigt die Art und die Anzahl der adulten Tiere. Die Fokussie-

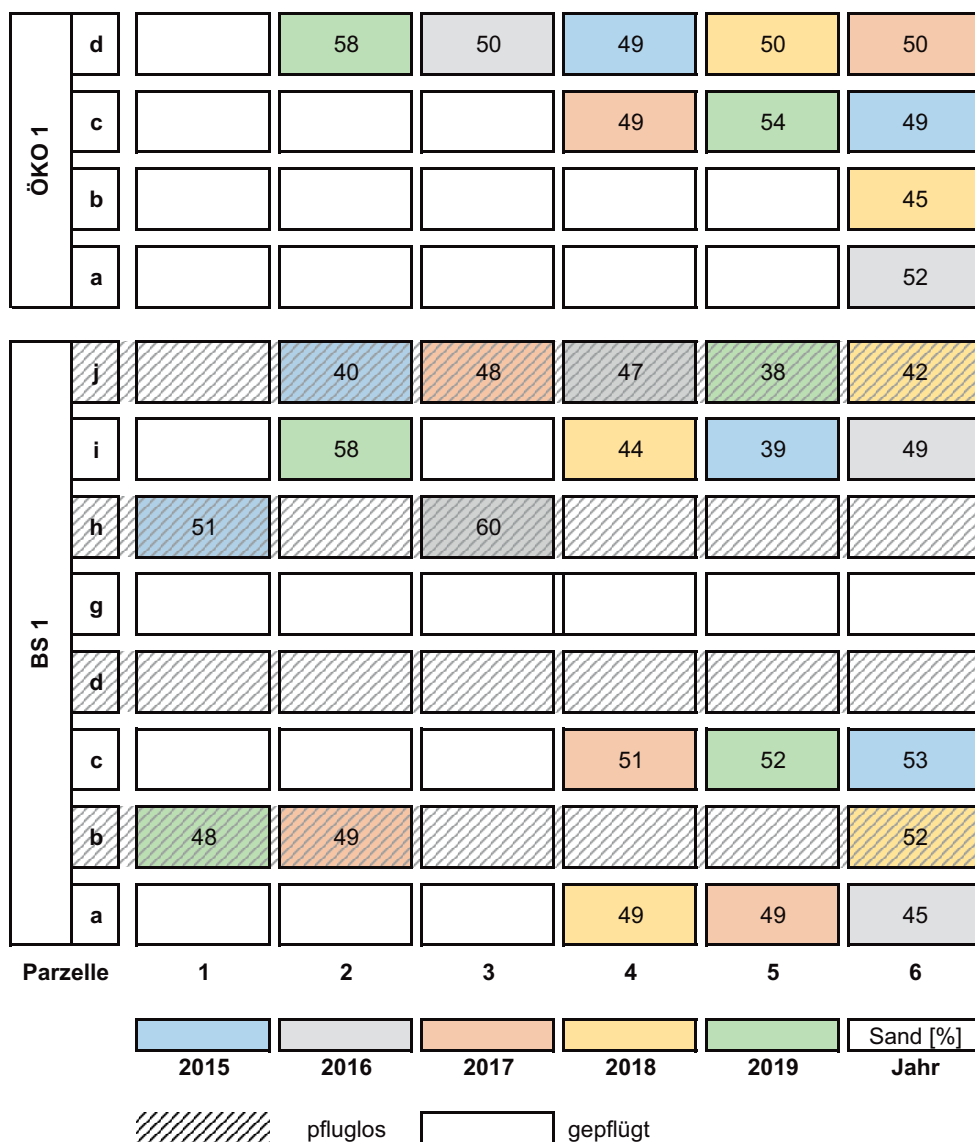


Abb. 1. Verteilung der beprobten Weizenparzellen 2015 bis 2019 in den beiden Langzeitversuchen „Betriebssystem 1 (BS 1)“ bzw. „Ökologischer Landbau (ÖKO 1)“ mit dem dazugehörigen Sandgehalt (%).
 Distribution of the sampled wheat plots 2015 to 2019 in the two long-term field test farming system 1 (BS 1) and Organic Farming system (ÖKO 1) with the corresponding sand content (%).

rung der Auswertung auf die adulten Tiere hat den Hintergrund, dass dieses Entwicklungsstadium besser die langfristigen Bedingungen bis zur Probenahme abbildet als dies bei der zusätzlichen Berücksichtigung der juvenilen Tiere der Fall wäre. Der Verzicht auf die juvenilen Tiere macht die Auswertung der Daten unabhängig vom Termin der Probenahme und von der wahrscheinlich oft hohen Mortalität unter den juvenilen Tieren und liefert damit robuste Ergebnisse für die Darstellung von Langzeiteffekten.

Mikrobiologische Untersuchungen

Für die mikrobiellen Untersuchungen wurde etwa 2 bis 3 kg des für die Bestimmung der Regenwürmer ausgehobenen Bodens für Laboruntersuchungen einbehalten. Die Tests erfolgten in Mischungen der 4 Einzelproben. Die Spatenproben wurden auf der Fläche mit einem 5 mm Sieb gesiebt und zu einer Mischprobe vereinigt und in verschließbaren 15 l Polyethylen-Eimern gelagert.

Zur Aktivierung der Mikroorganismenpopulationen wurden die Böden eine Woche vor Testbeginn auf ca. 50% der WK_{max} angefeuchtet und 7 Tage bei 20°C dunkel gelagert. In Laboruntersuchungen wurden die Mischproben der Böden geprüft.

Die Methoden umfassen:

- C-Kreislauf: Basal- und substratinduzierte Atmung (DIN/ISO 16072: 2011), mikrobielle Biomasse C_{mik} (EN ISO 14240-1:2011), metabolischer Quotient qCO_2 (SCHINNER & SONNLEITNER, 1996),
- Aktivitätsparameter: Dehydrogenasen-Aktivität DHA (DIN/ISO 23753-1: 2018),
- N-Kreislauf: Ammonium, Nitrit und Nitrat (OECD-Guideline 216:2000).

Bodenanalysen

Die Untersuchungen der Bodenproben erfolgten in jeweils einer Mischprobe aus den vier Entnahmestellen pro Parzelle. Die Bodenanalysen erfolgten nach Lufttrocknung und 2 mm Siebung. Im speziellen wurden folgende Methoden verwendet:

- pH-Wert (A5.1.1, VDLUFA 1991),
- Kationenaustauschkapazität – KAK_{eff} (DIN ISO 11260, 1997),
- Korngröße (DIN 19683-2, 1997), CNS (DIN ISO 10694, 1998),
- organische Bodensubstanz und Trockenmasse (DIN 19684-3 1998),
- Schwermetallgehalte mittels Königswasseraufschluss (A2.4.3.1, VDLUFA, 1991) und anschließender Analyse mittels ICP-OES (Thermo Scientific ICap 7600 DUO).

Bodencharakterisierung

Bei dem Boden des Versuchsfeldes Dahnsdorf handelt es sich größtenteils um einen schluffigen Sandboden mit einem mittleren Sandgehalt zwischen 47,5 bis 50,5%, einem Tongehalt zwischen 4,7 und 8,1% und einem

Schluffgehalt zwischen 41,8 und 47,8% (Tab. 1). Die Variation des Ton- und Schluffgehaltes in den einzelnen Parzellen zeigt eine große Spannweite.

Zum Teil liegen die Wiederholungen der Probenahmestellen in den einzelnen Jahren räumlich weit auseinander. Der Sandgehalt der ökologisch bewirtschafteten Parzellen ist signifikant höher und der Schluffgehalt signifikant niedriger als bei den pfluglosen Parzellen der GFP Varianten.

Der mittlere Boden-pH-Wert liegt zwischen 5,2 und 5,5 und ist ausreichend für die ausgewählten Fruchtfolgekulturen. Der mittlere Gehalt an organischer Bodensubstanz von 1,9 bis 2,4 ist als schwach bis mittel humos einzustufen (DÜWEL et al., 2007). Der pH-Wert und der Gehalt organischer Substanz der Öko-Parzellen sind signifikant niedriger als bei den GFP-Parzellen. Das C/N Verhältnis variiert zwischen 7 und 11 und entspricht den typischen Werten landwirtschaftlicher Böden im Berliner Urstromtalgebiet. Die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) ist mit Werten zwischen 2,9 und 7,7 mol_c kg⁻¹ als niedrig einzuordnen und zeigt signifikant niedrigere Werte der ÖKO-Parzellen im Vergleich zu den gepflügten GFP Varianten.

Die Schwermetallbelastung des Bodens auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf liegt für alle nach Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) relevanten Elemente unterhalb der Vorsorgewerte für sandige Böden (Tab. 2). Auswirkungen der Schwermetalle auf die Bodenorganismen sind deshalb auszuschließen.

Statistik

Die statistischen Analysen der ANOVA mit nachfolgendem post-hoc Tukey HSD Test zur Unterscheidung signifikanter Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Bodenbearbeitungen der unterschiedlichen Bewirtschaftungssysteme (ÖKO: gepflügt, GFP gepflügt und pfluglos) wurden mit RStudio durchgeführt. Der Test auf Normalverteilung erfolgte visuell unter Betrachtung der Q-Q Plots sowie der Residuen vs. Fitted values. Die Varianzhomogenität wurde mittels Bartlett-Test durchgeführt. Die Spearman Korrelationsanalyse der Mittelwerte aus den beiden Betriebssystemen und Jahren erfolgte ebenfalls mit RStudio. Die Ergebnisse werden als Mittelwert und Standardabweichung der Mischprobe bei den Bodenproben bzw. der 8 Probenahmestellen (2x4) pro Jahr für die Bodenorganismen dargestellt.

SAS 9.4 wurde zur Berechnung der mikrobiellen Daten mit der Prozedur GLM und zur graphischen Darstellung der Heatmaps angewendet.

Ergebnisse und Diskussion

Regenwurmerhebungen

Die Regenwurmgesellschaften in den Winterweizenparzellen am Standort Dahnsdorf werden durch fünf Arten charakterisiert: die anektische Art *Lumbricus terrestris*, die endo-anektische Art *Aporrectodea longa* sowie die endogäischen Arten *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrecto-*

Tab. 1. Mittelwert und Standardabweichung der Bodentextur und ausgewählter physikalisch-chemischer Bodenparameter der Bodenmischproben pro Jahr und über alle Jahre. Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede mit $p < 0,05$.

Mean values and standard deviation of soil texture and single physico-chemical soil properties per year and per the five-year period. Mean values with different letters show significant differences with $p < 0.05$.

Parameter	Einheit	Variante	Jahr					MW (SD)
			2015	2016	2017	2018	2019	
Sand	%	ÖKO gepflügt	48,8 (0,2)	51,1 (0,9)	49,5 (0,7)	47,2 (3,6)	55,9 (3,3)	50,5 (3,6) ^a
		GFP gepflügt	45,8 (10,0)	47,2 (2,8)	49,8 (1,3)	46,4 (3,1)	55,0 (3,8)	48,8 (5,2) ^{ab}
		GFP pfluglos	45,6 (7,8)	53,6 (9,4)	48,2 (0,7)	46,9 (7,2)	43,1 (6,4)	47,5 (6,4) ^b
Ton	%	ÖKO gepflügt	3,0 (1,8)	5,8 (0,6)	4,7 (1,0)	3,5 (2,7)	21,4 (24,5)	7,7 (11,0) ^a
		GFP gepflügt	6,8 (3,6)	5,2 (0,2)	4,5 (2,4)	5,1 (7,2)	18,7 (11,9)	8,1 (7,5) ^a
		GFP pfluglos	4,2 (1,8)	8,4 (6,1)	4,5 (0,8)	2,2 (0,8)	4,2 (1,7)	4,7 (3,1) ^a
Schluff	%	ÖKO gepflügt	48,2 (1,6)	43,1 (0,3)	45,8 (0,3)	49,3 (6,3)	22,7 (21,2)	41,8 (12,7) ^a
		GFP gepflügt	47,5 (6,4)	47,6 (2,7)	45,7 (3,7)	48,5 (4,1)	26,4 (15,8)	43,1 (10,7) ^{ab}
		GFP pfluglos	50,2 (6,0)	38,0 (3,3)	47,2 (0,1)	50,9 (6,4)	52,7 (8,2)	47,8 (6,9) ^b
pH-Wert	--	ÖKO gepflügt	5,3 (0,2)	5,0 (0,1)	5,4 (0,0)	5,5 (0,1)	4,9 (0,1)	5,2 (0,3) ^a
		GFP gepflügt	5,3 (0,1)	5,3 (0,1)	5,7 (0,2)	5,7 (0,2)	5,4 (0,3)	5,5 (0,2) ^b
		GFP pfluglos	4,9 (0,1)	5,2 (0,0)	5,8 (0,2)	5,7 (0,1)	5,3 (0,1)	5,4 (0,4) ^b
Organische Substanz	%	ÖKO gepflügt	2,3 (0,8)	1,8 (0,2)	1,9 (0,1)	1,8 (0,3)	1,8 (0,1)	1,9 (0,4) ^a
		GFP gepflügt	2,7 (0,5)	2,4 (0,2)	2,1 (0,4)	2,2 (0,3)	2,5 (0,5)	2,4 (0,4) ^b
		GFP pfluglos	2,8 (0,1)	2,2 (0,3)	2,2 (0,1)	2,2 (0,3)	2,6 (0,2)	2,4 (0,3) ^b
C/N	--	ÖKO gepflügt	9,0 (0,4)	10,4 (0,4)	7,7 (0,9)	8,9 (1,1)	7,8 (0,3)	8,7 (1,1) ^a
		GFP gepflügt	9,5 (0,4)	10,5 (0,5)	7,0 (0,1)	9,3 (0,4)	9,9 (1,2)	9,2 (1,3) ^a
		GFP pfluglos	9,3 (0,1)	10,9 (0,0)	7,7 (1,5)	8,8 (1,1)	8,6 (0,1)	9,1 (1,3) ^a
KAK _{eff}	mol _c kg ⁻¹	ÖKO gepflügt	4,3 (0,8)	6,5 (0,4)	3,7 (0,6)	3,1 (0,6)	2,9 (0,1)	4,1 (1,4) ^a
		GFP gepflügt	4,3 (0,4)	7,7 (1,4)	5,0 (0,7)	3,5 (0,4)	4,4 (0,5)	5,0 (1,6) ^b
		GFP pfluglos	4,1 (0,3)	5,3 (0,3)	4,4 (1,4)	3,5 (0,6)	4,7 (0,6)	4,4 (0,8) ^{ab}

Tab. 2. Mittelwert und Standardabweichung der nach BBodSchV relevanten Elemente der Bodenmischproben über alle Jahre. Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede mit $p < 0,05$.

Mean values and standard deviation of the elements of the composite soil samples relevant according to BBodSchV for the five-year period. Mean values with different letters show significant differences with $p < 0.05$.

Variante	Metallgehalt [mg kg ⁻¹]					
	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Blei	Zink
ÖKO gepflügt	0,14 (0,05) ^a	6,07 (1,94) ^a	6,26 (1,97) ^a	3,46 (0,92) ^a	13,44 (6,01) ^a	20,21 (3,93) ^a
GFP gepflügt	0,15 (0,04) ^a	7,43 (1,51) ^b	7,65 (3,53) ^a	4,29 (0,81) ^b	16,29 (4,75) ^{ab}	24,88 (4,33) ^b
GFP pfluglos	0,15 (0,07) ^a	7,73 (1,29) ^b	7,05 (2,53) ^a	4,39 (0,62) ^b	19,19 (7,31) ^b	24,54 (1,93) ^b
Vorsorgewert*	0,4	30	20	15	40	60

* Vorsorgewerte für sandige Böden nach BBodSchV 1999

dea rosea und *Allobophora chlorotica*, wobei *L. terrestris* (im weiteren Text LUMBTE) und *A. caliginosa* (APORCA) die höchste Stetigkeit aufweisen (sogenannte Leitarten)

und damit in das Raster nach JÄNSCH et al. (2013) der drei häufigsten Arten in Böden mit ackerbaulicher Nutzung passen. Damit repräsentiert der Standort Dahnsdorf 5

der 18 für den gesamten nordostdeutschen Raum beschriebenen Arten (KRÜCK, 2018). Alle fünf Arten gehören zu der von JÄNSCH et al. (2013) definierten Gruppe der 10 häufigsten Arten in Deutschland. Sie gehören nach JÄNSCH et al. (2013) auch zu jener fünfer Gruppe, die am häufigsten in Böden mit niedrigem Gehalt an organischer Substanz ($\leq 2,0\%$) angetroffen werden.

Epigäische Regenwurmarten, d. h. die Bewohner der Streuschicht, wurden nicht gefunden. Auf das seltene Vorkommen dieser Lebensform in ackerbaulich genutzten Böden verweisen auch RÖMBKE et al. (2012) und SEITER et al. (2017).

Die Anzahl der Arten ist in der Variante ÖKO mit $3,4 \pm 0,8$ am höchsten, gefolgt mit $3,0 \pm 0,9$ in der Variante GFP gepflügt und $2,6 \pm 0,7$ in der Variante GFP pfluglos.

Die ausgeprägte Dominanz der Art APORCA unter den endogäischen und LUMBTE unter den anektischen Arten in verschiedenen Bodenbearbeitungs- und Betriebssystemen ist schon oft beschrieben worden (CRITTENDEN et al., 2014). Von diesen beiden Arten ist ihre große ökologische Varianz bekannt, das heißt beide Arten sind an ganz verschiedenen Standorten zu finden (KRÜCK, 2018). Weitere Untersuchungen zeigen, dass die Abundanz von APORCA gegenüber der von LUMBTE oft höher ist (CRITTENDEN et al., 2014). CRITTENDEN et al. (2014) berichten auch, dass in ihren Untersuchungen LUMBTE oft nur einen Anteil an der Gesamtabundanz von $< 1\%$ erreichte. Eine Beobachtung, die für Dahnsdorf nicht zutrifft (Abb. 2). Über den Beobachtungszeitraum der fünf Jahre ist die Abundanz von APORCA mit $17,0 \pm 16,9$ pro m^2 in den ÖKO Parzellen signifikant höher als bei den GFP Varianten (gepflügt: $10,6 \pm 8,4$, pfluglos: $5,2 \pm 5,0$). Aber dennoch sind diese Abundanzen niedriger als bei LUMBTE sowohl in der ÖKO-Variante ($21,1 \pm 22,5$), als auch in den GFP Varianten (gepflügt: $37,0 \pm 33,4$, pfluglos: $44,7 \pm 55,4$).

Die Kombination von 6-feldriger Fruchtfolge und Bodenbearbeitung im Zusammenwirken mit den Bodeneigenschaften (hoher Sandgehalt, geringer Gehalt an organischer Substanz) und der oft regenarmen Witterung

(ausgeprägte Vorsommertrockenheit) könnten die Dominanz von LUMPTE in den Langzeitversuchen des JKI in Dahnsdorf erklären. Für eine stärkere Population der Art APORCA ist das Nahrungsangebot in der oberen Bodenschicht womöglich zu gering.

In der Öko-Variante sind die beiden Leitarten LUMBTE und APORCA sowie die unter REST zusammengefassten anderen Arten jeweils zu einem Drittel gleichmäßig verteilt (Abb. 3A). Die Variante ÖKO zeigt im Vergleich zu den beiden GFP-Varianten die größte Diversität der Regenwurmpopulation und damit die geringste Selektion auf eine einzelne Art. Diese Diversität dürfte vor allem auf die positive Wirkung der zweijährigen Vorfrucht einer Luzerne-Kleegrass-Mischung und der Düngung der Kartoffelparzellen mit Stallmist (200 dt ha^{-1}) zurückzuführen sein. Auch BENGTTSSON et al. (2005) zeigen mit ihrer Metastudie den positiven Effekt von ökologischen Anbausystemen auf die Biodiversität von Regenwürmern (12 von 13 Studien).

Es scheint so, dass mit der Intensität der Weizenproduktion, ausgedrückt im Ertrag (Abb. 3B), der Anteil von LUMBTE an Dominanz gewinnt und APORCA verliert. Sowohl in der gepflügten als auch in der pfluglosen GFP-Variante ist der prozentuale Anteil der adulten Tiere von LUMBTE größer.

Der Vergleich der beiden gepflügten Varianten zeigt, dass der relative Anteil von LUMBTE in der GFP-Variante um ein Drittel höher ist als in der ÖKO-Variante, während die Abundanz von APORCA um das gleiche Verhältnis niedriger ist. Der Pflug im ökologischen Betriebssystem selektiert weniger stark die Leitarten als in einem konventionellen Betriebssystem. Somit scheinen die positiven Effekte der Fruchtfolge und der organischen Düngung in der ÖKO-Variante die Störung des Bodenlebens infolge der mechanischen Bodenbearbeitung auszugleichen.

Demgegenüber kommt es in der pfluglosen GFP-Variante im Vergleich zur ÖKO-Variante nahezu zu einer Verdopplung des Anteils von LUMBTE zu Ungunsten von APORCA und der anderen Arten. Auch SEITER et al. (2017) konnten bei Mulch- und Direktsaaten einen moderaten bzw. starken Anstieg der Abundanzen für

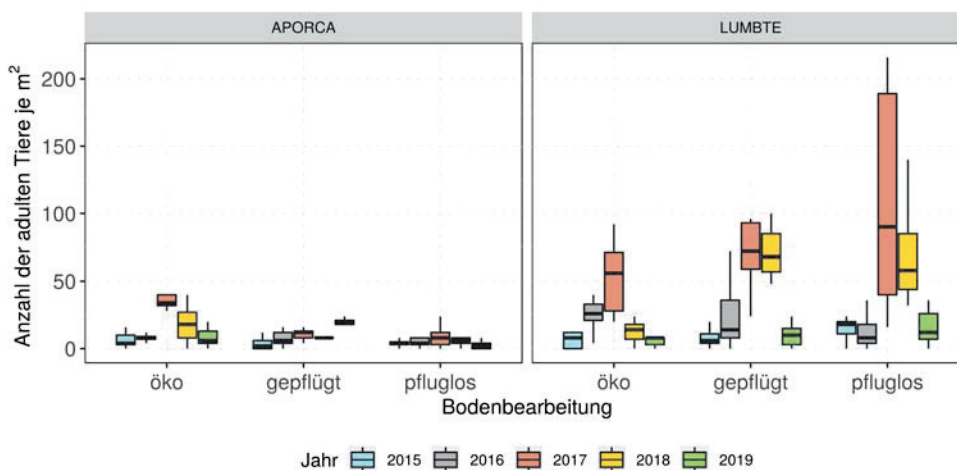


Abb. 2. Abundanz der beiden Leitarten in den jeweiligen Varianten über den Erhebungszeitraum von 5 Jahren (Box-Whisker-Plots mit Angabe des Medianwertes).

Abundance of the two indicator species in the respective variants for the five-year period (box and whisker plots with indication of the median value).

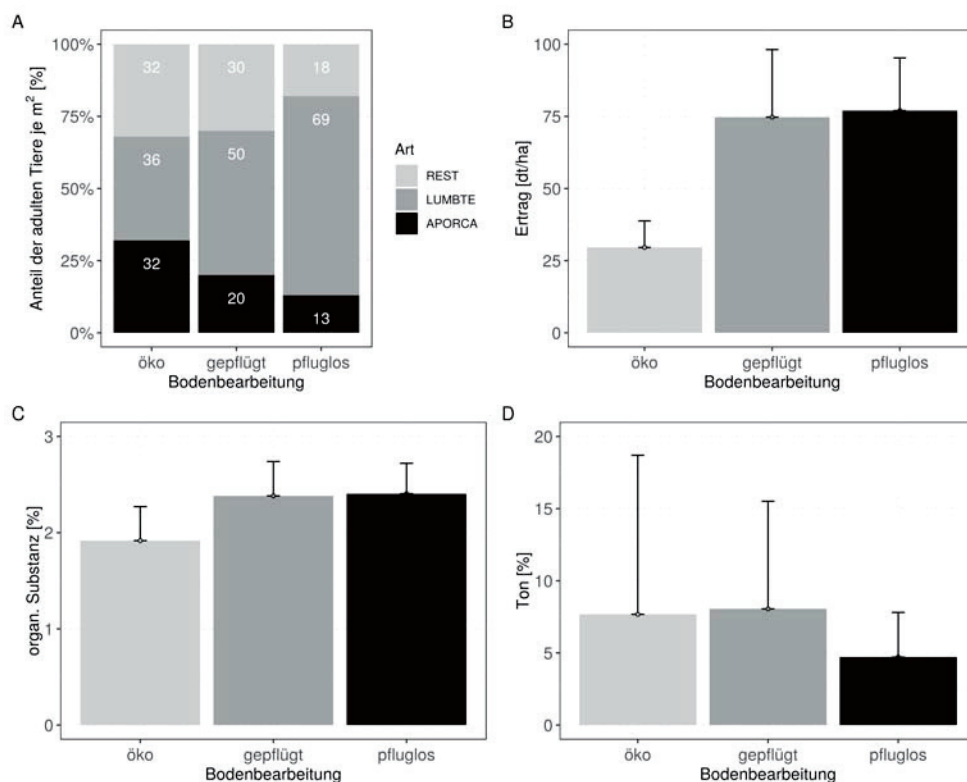


Abb. 3. Mittlere relative Zusammensetzung der Regenwurmgesellschaften (A) in den drei Varianten in Beziehung zum Weizenertrag (B), Gehalt an organischer Substanz im Boden (C) und Bodentongehalt (D). Average composition of earthworm communities (A) in the three variants in relation to wheat yield (B), soil organic matter content (C) and soil clay content (D).

LUMBTE auf Kosten endogäischer Arten beobachten. PÉRÈS et al. (2011) sehen in der Zunahme der anektischen Arten einen bedeuten Faktor für die Bodenfruchtbarkeit, weil dadurch das Makroporenvolumen und die Bodenaggregation wesentlich erhöht werden.

Bei der konservierenden Bodenbearbeitung werden weniger Pflanzenreste in den Boden eingearbeitet. Dies geschieht zum Nachteil der endogäisch lebenden Regenwurmarten. Was sowohl CRITTENDEN et al. (2014) als auch diese Studie aus Dahnsdorf bestätigen. Der relativ hohe Anteil an adulten Tieren von LUMBTE in der pfluglosen Variante könnte wiederum damit erklärt werden, dass die Tiere auf der Bodenoberfläche ausreichend Nahrung finden und die vorhandenen Röhren in tieferen Bodenschichten durch die Bodenbearbeitung nicht zerstört werden. Nach SEITER et al. (2017) bietet die Direktsaat mit den geringsten Eingriffen in die Bodenstruktur die besten Bedingungen für die anektischen Arten (Tiefenräuber).

Generell ist der Gehalt an organischer Substanz in allen drei Varianten mit etwa 2% sehr gering für eine höhere Abundanz endogäischer Regenwürmer. In der ÖKO-Variante ist die organische Substanz signifikant niedriger als in den beiden GFP-Varianten (Abb. 3C). Die Art APORCA ist allerdings an nährstoffarme Böden angepasst (JÄNSCH et al. (2013)) was ein möglicher Grund für die höhere Abundanz in der ÖKO-Variante sein könnte. Des Weiteren zeigt diese Art eine deutlich höhere negative Korrelation ($\rho_s = -0,537$) zur organischen Substanz als LUMBTE ($\rho_s = -0,223$) (Tab. 3). Im Gegensatz zu den Erfahrungen von EMMERLING & SCHRADER (2016b) konnte

der zweijährige Anbau einer Luzerne-Kleegras-Mischung und die Düngung mit Stallmist den Gehalt der organischen Substanz in der ÖKO-Variante nicht über das Niveau der GFP-Varianten anheben. Die größere Abundanz der endogäischen Arten in der ÖKO-Variante im Vergleich zu den GFP-Varianten kann auch durch weitere Boden- und Anbauparameter verursacht werden (JÄNSCH et al., 2013), z.B. der unmittelbaren positiven Wirkung des zweijährigen Anbaus einer Luzerne-Kleegras-Mischung als Vorfrucht zum Winterweizen. Bei den Erhebungen von CRITTENDEN et al. (2014) lagen die Gehalte für die organische Substanz deutlich über 3%, in den ökologischen Varianten sogar 0,2% über den konventionellen Varianten, und damit höher als auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf. Auch BENGSSON et al. (2005), JOHNSTON et al. (2015) und SEITER et al. (2017) stellen fest, dass die organische Substanz und eine konservierende Bodenbearbeitung diverse und individuenreiche Regenwurmgesellschaften begünstigen, wobei SEITER et al. (2017) größere Vorteile bei der Direktsaat als bei der Mulchsaat sehen. Im Modell von JOHNSTON et al. (2015) wird insbesondere Bedeutung der Unkrautkontrolle als wichtige Quelle für die organische Substanz beigemessen.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, je ungünstiger die Textur für Regenwürmer ist (steigender Sandgehalt) desto wichtiger wird im Rahmen der Fruchtfolge die Zufuhr von organischer Substanz für die Etablierung von diversen und individuenreichen Regenwurmgesellschaften.

Die niedrige Anzahl der APORCA-Tiere in der Variante GFP pfluglos sollte auch vom geringeren Tongehalt ver-

Tab. 3. Spearman Korrelationskoeffizient (ρ_s) für die Regenwurmabundanz und die mikrobiologischen Parameter zu ausgewählten physikalisch-chemischen Bodenparameter, Winterweizenertrag und Jahresniederschlag.Spearman's correlation coefficients (ρ_s) of earthworm abundances and microbiological parameters to selected physico-chemical soil properties, winter wheat yield and annual rainfall.

Parameter	Korrelationskoeffizient (ρ_s)							
	APORCA	LUMBTE	GESAMT	C_{mik}	$q\text{CO}_2$	DHA	NH_4^+	NO_3^{2-}
Sand	0,533	-0,216	0,096	-0,414	0,489	0,025	-0,257	-0,075
Ton	0,064	-0,336	-0,096	-0,632	0,068	-0,032	-0,282	0,221
Schluff	-0,402	0,227	-0,096	0,471	-0,279	0,161	0,148	-0,189
pH-Wert	0,377	0,694	0,769	0,645	-0,287	0,321	-0,100	-0,176
Organische Substanz	-0,537	-0,223	-0,375	0,029	-0,193	-0,229	0,241	0,525
C/N	-0,367	-0,373	-0,275	-0,522	-0,077	0,104	-0,136	0,163
KAK_{eff}	-0,246	0,154	0,061	-0,389	0,150	-0,202	0,238	0,471
Ertrag 2014–2018	-0,462	0,459	0,311	0,261	-0,221	-0,052	0,113	0,268
Ertrag 2015–2019	-0,395	0,279	0,182	0,032	-0,621	-0,381	0,386	0,743
Niederschlag 2014–2018	0,289	0,715	0,786	0,567	-0,175	0,284	-0,011	-0,458
Niederschlag 2015–2019	0,122	0,306	0,404	0,076	-0,502	-0,700	0,672	0,524

ursacht werden, da APORCA tonreiche Böden bevorzugt (KRÜCK, 2018, RÖMBKE et al., 2012). Wenige Probenahmestellen zeigen höhere Ton- und niedrigere Schluffgehalte als die meisten anderen Punkte, die zwischen 5 und 7% liegen (Abb. 3D). Die Sandgehalte variieren eher geringfügig (Tab. 1).

Die Abundanz von APORCA und LUMBTE über die fünf Jahre Beobachtungszeitraum verläuft in allen drei Varianten ungleichmäßig. Mit Beginn der Probenahme im Jahr 2015 bis 2017 wurde eine stetige Zunahme der Abundanz gefolgt von einer Abnahme bis 2019 beobachtet (Abb. 2 und 4). Die hohen Abundanzen 2017 und 2018 sind das Ergebnis von vorangegangenen mehrjährigen stabilen Hohertragsbedingungen, die vor allem geprägt waren durch ausreichend Niederschläge. Der Einbruch der Abundanz der Regenwürmer über alle Arten hinweg – wie auch des Ertrages – im Jahr 2019 ist das Ergebnis der extrem trockenen und heißen Witterung im Sommer 2018 (Abb. 4). Die Niederschlagsdaten aus dem Vorjahr zeigen erwartungsgemäß eine starke Korrelation zur Abundanz adulter Regenwürmer im Folgejahr verglichen mit den Werten aus dem gleichen Jahr ($\rho_s = 0,786$ vs. $0,404$). Die Spearman Korrelation mit den vorjährigen Ertragsdaten zeigt diesen Zusammenhang nur schwach ($\rho_s = 0,311$), während die Ertragsdaten aus demselben Jahr keine Korrelation erkennen lassen ($\rho_s = 0,182$) (Tab. 3).

Die mittlere Abundanz aller Arten und über alle fünf Jahre beträgt 58 ± 38 adulte Tiere pro m^2 mit einer Artenanzahl von $3,0 \pm 0,9$. Die von JÄNSCH et al. (2013) speziell für sandige Böden ($n = 21$) berechneten Werte liegen bei 19 ± 28 adulte Tiere pro m^2 mit einer Artenanzahl von $1,9 \pm 1,2$ und damit niedriger als die mittleren Werte aus Dahnsdorf. Das sollte auch ein Hinweis darauf sein, dass ungünstige natürliche Bedingungen des Bodens über die Regenwürmer fördernde ackerbauliche Maß-

nahmen (vielfältige Fruchtfolge, konservierende Bodenbearbeitung) zum Teil kompensiert werden können.

Der Vergleich der beiden GFP-Varianten mit der ÖKO-Variante ergibt keine gesicherten Hinweise, dass die Anwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln Unterschiede zwischen den Varianten (mit)erklären. Dafür ist der Unterschied zwischen der ÖKO-Variante und den beiden GFP-Varianten zu gering und zu stark gekoppelt mit der Bodenbearbeitung und den natürlichen Standortbedingungen. Hinzu kommt, dass die meisten chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmittel – als Ergebnis der Bewertung der Zulassungsunterlagen – keine Kennzeichnung „Nebenwirkung auf Regenwürmer“ haben (HOMMEL & FELGENTREU, 2016).

Relevant für die Interpretation von Regenwurmdaten sind nach RÖMBKE et al. (2012) vor allem die Bodenbearbeitung, der pH-Wert des Bodens (der optimale Bereich für viele Arten liegt zwischen 5 bis 8), die Bodentextur und Bodenfeuchte (Niederschlag) sowie der Gehalt an organischer Substanz.

Bodenmikroorganismen

Die verschiedenen ackerbaulichen Maßnahmen in den drei Varianten haben auf die mikrobielle Biomasse in den oberen 20 cm des Ackerbodens insgesamt keinen nachhaltigen Einfluss (Abb. 5). Die Unterschiede und hohe Variabilität der Werte können mit den Niederschlägen der Vorjahre erklärt werden ($\rho_s = 0,567$) (Tab. 3). Die niedrigen Werte 2019 für die mikrobielle Biomasse in allen Varianten sollten das Ergebnis der Trockenheit und Hitze 2018 sein. Dies ist auch am hohen metabolischen Quotienten aus dem Jahr 2019 zu erkennen, was ein Hinweis auf „gestresste“ Mikroorganismen ist (Abb. 6).

Die Dehydrogenase-Enzyme, als ein Parameter für die allgemeine Aktivität lebender Zellen, sind im Beobachtungsjahr 2018 besonders aktiv (Abb. 6).

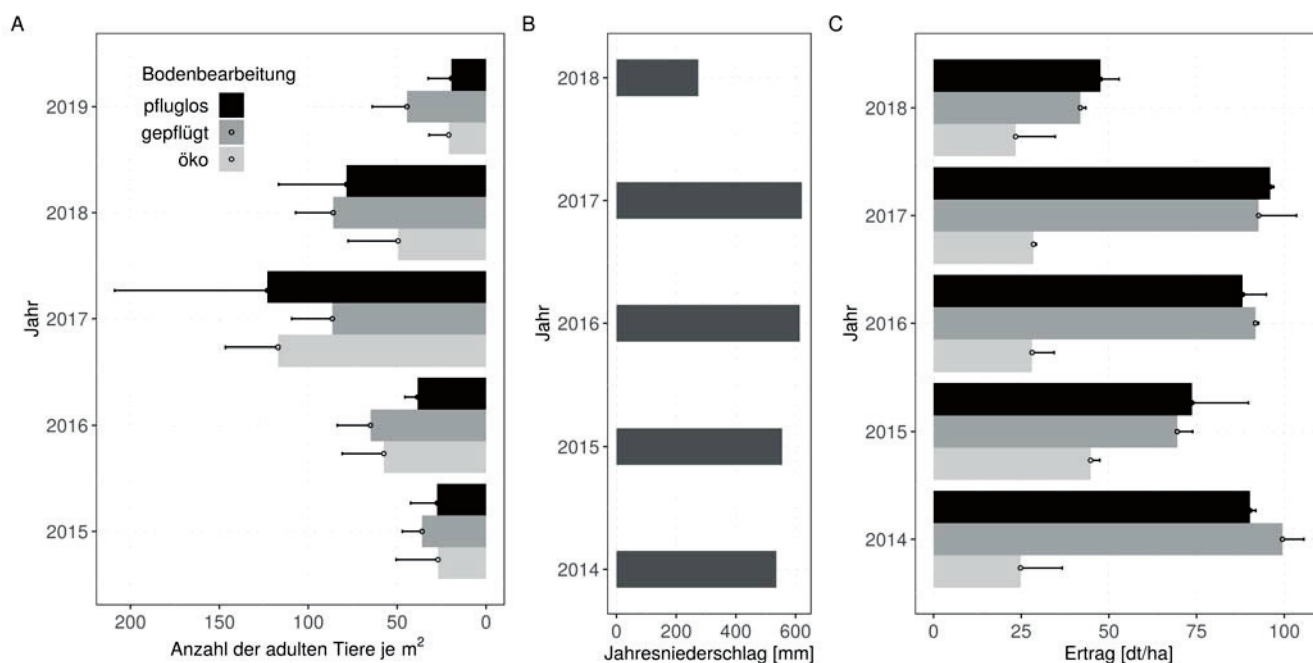


Abb. 4. Mittlere Anzahl der adulten Regenwürmer in den drei Varianten in den Beprobungsjahren 2015 bis 2019 (A) und die Werte für Jahresniederschlag (B) und Weizenertrag (C) aus dem Vorjahr als Interpretationshilfe für die Schwankung der Regenwurmabundanz zwischen den Jahren.

Mean number of adult earthworms in the three variants in the total sampling period 2015 to 2019 (A) and the values for annual rainfall (B) and wheat yield (C) from the previous year as an interpretation aid for the fluctuation of the earthworm abundance between the years.

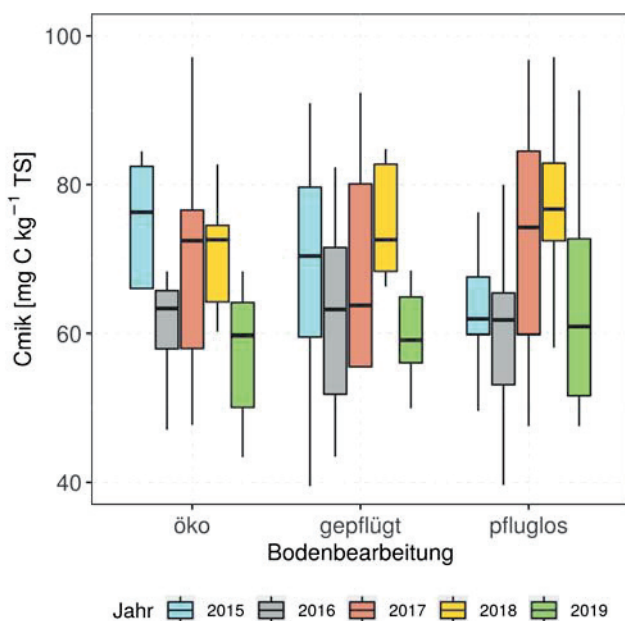


Abb. 5. Mikrobielle Biomasse für die Beprobungsjahre 2015–2019. Microbial biomass for the sampling period 2015–2019.

Gleichzeitig ist ein geringer Bodengehalt an Nitrat und Ammonium in den Jahren 2018 und 2019 zu beobachten. Offensichtlich konnten die Mikroorganismen das vorhandene Nitrat zum Aufbau ihrer Zellen nutzen und den Stickstoff immobilisieren (Abb. 6).

Der Ertrag in 2018 war am geringsten, so dass der Stickstoff (Nitrat-N und Ammonium-N) nicht zum Aufbau einer erhöhten Pflanzenbiomasse benutzt wurde.

Die Mikroorganismengesellschaften sind in der Lage, relativ schnell die extremen Veränderungen durch das Bodenwenden oder Oberflächengrubbern zu überstehen und sich dem ursprünglichen Zustand wieder anzugleichen, so dass sogar eine Abschätzung der zu erwartenden mikrobiellen Biomasse bei Kenntnis von wenigen Ausgangsgrößen möglich ist (EMMERLING & SCHRADER, 2016b). Die Bedeutung der Diversität der Mikroorganismengesellschaften für deren Funktion, z.B. für den Strohabbau, ist aber auch oft widersprüchlich beschrieben (EMMERLING & SCHRADER, 2016a). Beim Anbau von Kulturpflanzen ist vorrangig wichtig, dass die Funktionen der Mikroorganismen als Destruenten und Produzenten für die Nachlieferung von Nährstoffen erhalten bleiben. Sollten Arten ausfallen oder ungünstige Bedingungen vorfinden, so gibt es immer wieder andere Arten, die diese Nischen ausfüllen können. Hier konnten im Untersuchungszeitraum keine Auffälligkeiten beobachtet werden. Im letzten Jahr der sechsjährigen Fruchtfolge ist geplant, über die Bestimmung der Phospholipidfettsäuren die Veränderung der Diversität der Bodenmikroorganismen zu erfassen, um mehrjährige Auswirkungen der ackerbaulichen Maßnahmen zu prüfen.

Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass die langjährige Witterung, die Fruchtfolge und die Bodenbearbeitung auf dem Ver-

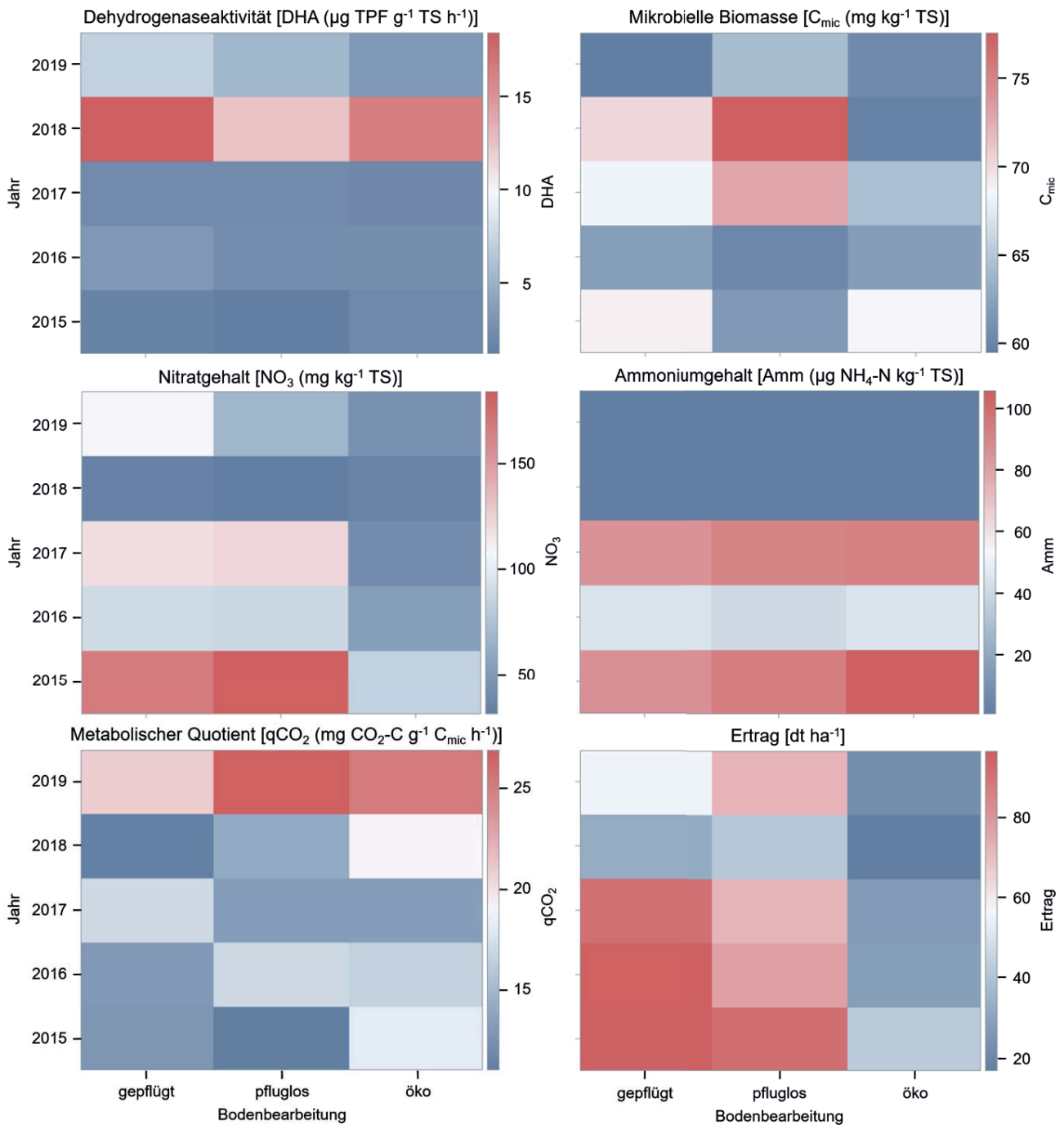


Abb. 6. Heatmap von Dehydrogenaseaktivität, mikrobielle Biomasse, Nitrat- und Ammonium-N, metabolischer Quotient und Ertrag in den Beprobungsjahren 2015 bis 2019.

Heat map of dehydrogenase activity, microbial biomass, nitrate and ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), metabolic quotient and yield in the sampling period 2015 to 2019.

suchsfeld Dahnsdorf einen starken Einfluss auf die Regenwurmgesellschaften ausüben. Mögliche (geringe) Effekte von Pflanzenschutzmaßnahmen oder Düngung auf die Regenwürmer konnten deshalb nicht nachgewiesen werden. Besonders deutlich werden die Effekte der pfluglosen Bodenbearbeitung auf die beiden Leitarten *A. caliginosa* und *L. terrestris*. Die Einarbeitung der Stoppel und der Strohreste in den Boden bei den gepflügten Varianten verbessert das Nahrungsangebot für die endogäischen Arten, die darauf mit einer höheren Abundanz

reagieren. Umgekehrt scheint die pfluglose Bodenbearbeitung günstig für die anektische Art *L. terrestris* zu sein. Gut zu beobachten war, dass beste Witterungsbedingungen für einen hohen Winterweizenertrag einhergingen mit einer Zunahme der Abundanz aller Arten. Oder umgekehrt, dass die extreme Trockenheit und die hohen Temperaturen im Jahr 2018 die Abundanz der Regenwurmgesellschaften – unabhängig vom Betriebssystem oder der Bodenbearbeitung – nachhaltig reduziert haben.

Die mittlere Artenanzahl und Anzahl der adulten Regenwürmer über alle Lebensformen und Varianten hinweg liegt mit $3,0 \pm 0,9$ bzw. 58 ± 38 Tieren pro m^2 nah am Referenzwert für „Ackerland auf Sand“ nach RÖMBKE et al. (2012).

Die Ergebnisse gehen in die Erarbeitung des Konzeptes für das Trendmonitoring der Regenwurmgesellschaften im Programm der Bundesregierung MonViA von JKI, Thünen-Institut und der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung ein (www.agrarmonitoring-monvia.de).

Innerhalb des Probenahmezeitraumes konnte zwischen den drei Varianten keine nachhaltige Änderung der Aktivität der Bodenmikroorganismen festgestellt werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den vielen Helferinnen und Helfern für die tatkräftige Unterstützung bei der Handauslese der großen und kleinen Regenwürmer, insbesondere bei unseren technischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Frau Baas, Herr Berg, Frau Bloßfeld, Frau Fleßner, Frau Reich, Frau Taghinia und Frau Vetter. Ein ganz besonderer Dank geht an Frau Stefanie Krück für die große Unterstützung bei der Artbestimmung vieler Regenwürmer.

Interessenkonflikte


Die Autoren erklären, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

Literatur


- BENGTSSON, J., J. AHNSTRÖM, A.-Ch. WEIBULL, 2005: The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* **42**, 261-269.
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli, 1999, BGBl. I p. 1554:.
- CRITTENDEN, S.J., T. ESWARAMURTHY, R.G.M DE GOEDE, L. BRUSSAARD, M.M., PULLEMAN, 2014: Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term in conventional and organic farming. *Applied Soil Ecology* **83**, 140-148, DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.03.001.
- DÜWEL, O., C.S. SIEBNER, J. UTERMANN, F. KRONE, 2007: Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands. Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Tgb.-Nr.: 10782/06, Berichts-Zeitraum: 01.01.2006–01.07.2007, Archiv-Nr.: 0126616, URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Schriften/Downloads/Humusgehalte_Bericht.pdf?__blob=publicationFile, Access: 15.05.2020.
- EMMERLING, Ch., S. SCHRADER, 2016a: Bodenbiologische Aktivität. In: *Gute fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit*. Voßhenrich, H., J.

- Brunotte, B. Ortmeier, H. Honecker, S. Schrader, T. Vorderbrügge, M. List, H.-J. Koch, H. Kolbe, S. Kratz, M. Kuhwald, K. Kuka, K. Marx, B.C. Schäfer, R. Duttmann, F. Ellmer, CH. Emmerling, D. Felgentreu, B. Hommel, M. Senger, K. Severin, B. Urban. (Eds.), Bonn, BLE-Medienservice, **1585/2016**, 61-62.
- EMMERLING, Ch., S. SCHRADER, 2016b: Fruchtfolgen steuern Bodenorganismen und deren Leistungen. In: *Gute fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit*. Voßhenrich, H., J. Brunotte, B. Ortmeier, H. Honecker, S. Schrader, T. Vorderbrügge, M. List, H.-J. Koch, H. Kolbe, S. Kratz, M. Kuhwald, K. Kuka, K. Marx, B.C. Schäfer, R. Duttmann, F. Ellmer, CH. Emmerling, D. Felgentreu, B. Hommel, M. Senger, K. Severin, B. Urban. (Eds.), Bonn, BLE-Medienservice, **1585/2016**, 89-90.
- HOMMEL, B., D. FELGENTREU, 2016: Schutz von Bodenorganismen im Zulassungsverfahren von Pflanzenschutzmitteln. In: *Gute fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit*. Voßhenrich, H., J. Brunotte, B. Ortmeier, H. Honecker, S. Schrader, T. Vorderbrügge, M. List, H.-J. Koch, H. Kolbe, S. Kratz, M. Kuhwald, K. Kuka, K. Marx, B.C. Schäfer, R. Duttmann, F. Ellmer, CH. Emmerling, D. Felgentreu, B. Hommel, M. Senger, K. Severin, B. Urban. (Eds.), Bonn, BLE-Medienservice, **1585/2016**, 116-121.
- JÄNSCH, S., L. STEFFENS, H. HÖFER, F. HORAK, M. ROß-NICKOLL, D. RUSSELL, A. TOSCHKI, J. RÖMBKE, 2013: State of knowledge of earthworm communities in German soils as a basis for biological soil quality assessment. *Soil Organisms* **85** (3), 215-233.
- JOHNSTON, A.S.A., R.M. SIBLY, M.E. HODSON, T. ALVAREZ, P. THORBEK, 2015: Effects of agricultural management practices on earthworm populations and crop yield: validation and application of a mechanistic modelling approach. *Journal of Applied Ecology* **52**, 1334-1342, DOI: 10.1111/1365-2664.12501.
- KRÜCK, S., 2018: Bildatlas zur Regenwurmbestimmung. Rangsdorf, Natur + Text.
- NANNIPIERI, P., J. ASCHER, M. CECCHERINI, L. LANDI, G. PIETRAMELLARA, G. RENELLA, 2002: Microbial diversity and soil. *European Journal of Soil Science* **54**, 655-670.
- PÈRES, G., F. VANDENBULCKE, M. GUERNION, M. HEDDE, T. BEGUIRISTAIN, F. DOUAY, S. HOUDOT, D. PIRON, A. RICHARD, A. BISPO, C. GRAND, L. GALSOMIES, D. CLUZEAU, 2011: Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment. An example from the national Bioindicator programme (France). *Pedobiologia* **54**, 77-87, DOI: 10.1016/j.pedobi.2011.09.015.
- RÖMBKE, J., S. JÄNSCH, M. ROß-NICKOLL, A. TOSCHKI, H. HÖFER, F. HORAK, D. RUSSELL, U. BURKHARDT, H. SCHMITT, 2012: Erfassung und Analyse des Bodenzustands im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Biodiversitätsstrategie. *Umweltbundesamt, Texte* **33**, UBA-FB 001606, 395 p.
- SCHINNER, F., R. SONNLEITNER, 1996: *Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik*, Band I. Grundlagen, Klima, Vegetation und Bodentyp. Springer Verlag.
- SEITER, Ch., H. FLAIG, K. HARTUNG, J. OTT, J. BREUER, K. MÖLLER, 2017: Untersuchung von Regenwürmern und Regenwurmröhren am Standort Dossenheim des Systemvergleichs Bodenbearbeitung. Systemvergleich Bodenbearbeitung Abschlussbericht 2017. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Informationen für die Pflanzenproduktion 05-2017, 87 p.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Personalien

Verleihung der Otto-Appel-Denkmünze im Jahr 2020 an Herrn Dr. Georg F. Backhaus



Präsident Dr. Backhaus bei der Eröffnung der Deutschen Pflanzenschutztagung im Jahr 2018 in der Universität Hohenheim (Foto: Robert Zech)

tenbauwissenschaften an der Universität Hannover entschied sich Backhaus für eine Promotion. Von 1980 bis 1983 und nochmals von Mai bis Dezember 1984 war er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz der Universität Hannover bei Professor Schönbeck tätig. Er befasste sich dort eingehend mit der Nutzung der endotrophen Mykorrhiza in der gärtnerischen Pflanzenproduktion. Zwischenzeitlich arbeitete er von 1983 bis 1984 für ein Jahr als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Abteilung für Forstmykologie und -pathologie der Schwedischen Landwirtschaftsuniversität in Uppsala, wo er sich mit speziellen Fragen zur Bedeutung von Mykorrhizapilzen bei der Produktion nachwachsender Rohstoffe befasste. Mit seiner Dissertation zum Thema "Untersuchungen zur Nutzung der endotrophen vesikulär-arkusikulären (VA) Endomykorrhizza in der gärtnerischen Pflanzenproduktion" schloss Dr. Backhaus seine Promotion an der Universität Hannover 1984 erfolgreich ab.

Zur Vorbereitung auf den Pflanzenschutzdienst folgte von März 1985 bis August 1986 ein Referendariat in Rheinland-Pfalz. Nach erfolgreichem Abschluss mit dem Zweiten Staatsexamen führte ihn sein Weg in den Norden zur Landwirtschaftskammer Weser-Ems nach Oldenburg, wo er von 1986 bis 1993 das Referat für Pflanzenschutz im Gartenbau leitete.

Im Jahre 1993 wechselte Dr. Backhaus zur Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) in Braunschweig und leitete dort von 1993 bis 2002 das Institut für Pflanzenschutz im Gartenbau. Nach erfolgreicher Bewerbung um das Präsidentenamt wurde Herrn Dr. Backhaus im Jahr 2002 das Amt des Präsidenten und Professors der BBA übertragen.

Während seiner Amtszeit als Präsident der BBA kamen Aufgaben auf ihn zu, die bei seiner Berufung nicht absehbar waren: Im Jahre 2007 wurde die Ressortforschung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) umstrukturiert. Dr. Backhaus wurde für die Übergangszeit bis zur Errichtung des Julius Kühn-Instituts neben seiner Funktion als Präsident der BBA auch als Ansprechperson für die Leitung des zukünftigen Julius Kühn-Instituts benannt. Dies beinhaltete insbesondere die Mitwirkung und Umsetzung des

Das Kuratorium zur Verleihung der Otto-Appel-Denkmünze hat beschlossen, Herrn Dr. Georg F. Backhaus, den langjährigen Präsidenten des Julius Kühn-Instituts (JKI) und einer seiner Vorgängereinrichtungen, der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, für seine herausragenden organisatorischen und wissenschaftlichen Verdienste auf dem Gebiet des Pflanzenschutzes mit der Otto-Appel-Denkmünze auszuzeichnen.

Als Sohn eines selbständigen Gärtnermeisters lernte Georg F. Backhaus die gartenbauliche Praxis von der Pike auf. Nach dem Studium der Gartenbauwissenschaften an der Universität Hannover entschied

Konzepts für eine zukunftsfähige Ressortforschung des BMEL. Sein Hauptaugenmerk galt der inhaltlichen Ausrichtung des JKI, doch auch vielfältige Aufgaben in den Bereichen Organisation, Personal und Haushalt waren von ihm wahrzunehmen.

Dr. Backhaus initiierte noch im gleichen Jahr erste Klausurtagungen mit allen betroffenen Institutsleiterinnen und -leitern der BBA, der Bundesanstalt für Züchtungsforschung (BAZ) und zwei mit Pflanzenbau und Pflanzenernährung befassten Instituten der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), denn es galt, sich zusammen zu finden und gemeinsam den Grundstein für das neue Bundesforschungsinstitut zu legen.

Mit Wirkung vom 1. Januar 2008 wurde das Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, mit Hauptsitz in Quedlinburg gegründet. Dr. Backhaus wurde zum Präsidenten des JKI bestellt und hat diese Aufgabe bis zu seinem Ausscheiden zum 31. Dezember 2018 mit überaus großem Engagement wahrgenommen.

Seine große Fachexpertise war und ist sowohl in nationalen als auch in internationalen Fachkreisen gefragt. Lang ist die Liste der Gremien und Beiräte, in denen Dr. Backhaus mitwirkte und sich engagiert einbrachte; hier seien lediglich einige Beispiele genannt:

- BioÖkonomierat der Bundesregierung
- Wissenschaftlicher Beirat zum Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)
- Deutsches Maiskomitee (Vorstand sowie Vorsitz im Ausschuss für Pflanzenschutz)
- Ausschuss für Pflanzenschutz der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft (DLG)
- Wissenschaftlicher Beirat des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR)
- Wissenschaftlicher Beirat des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren und Erfurt (IGZ)
- Wissenschaftlicher Beirat der Hochschule Geisenheim
- Wissenschaftlicher Beirat des Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrums Laimburg, Italien
- Wissenschaftlicher Beirat der Gemeinschaft zur Förderung der Pflanzenzüchtung
- Wissenschaftlicher Beirat der Deutschen Gartenbau Gesellschaft 1822 e.V.
- Wissenschaftlicher Beirat des Kompetenzzentrums Gartenbau (KoGa), Universität Bonn
- Senat der Bundesforschungsinstitute im Geschäftsbereich des BMEL

Auf den Ausbau und die Intensivierung der nationalen und internationalen Kooperation legte Dr. Backhaus großen Wert. Unter seiner Leitung wurden zahlreiche Kooperationsvereinbarungen des JKI mit Forschungseinrichtungen im In- und Ausland geschlossen. Zahlreiche Delegationsreisen des BMEL ins Ausland hat Herr Dr. Backhaus begleitet und fachlich unterstützt.

Auch in Berufsverbänden und wissenschaftlichen Organisationen wirkte Dr. Backhaus engagiert mit, zu nennen sind hier beispielsweise:

- Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft (DPG) (9 Jahre im Vorstand tätig)

- Deutsche Gartenbauwissenschaftliche Gesellschaft (DGG)
- International Society for Horticultural Sciences (ISHS)
- Bundesverband der Hochschulabsolventen Gartenbau und Landespflege e.V.
- Vereinigung für Angewandte Botanik e.V.

In den Jahren 2005 und 2016 wurde Dr. Backhaus mit der Medaille der Tschechischen Phytopathologischen Gesellschaft für die Förderung der bilateralen Beziehungen und Zusammenarbeit ausgezeichnet. Im Jahre 2010 wurde er mit der Albrecht-Daniel-Thaer-Medaille der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin geehrt. Nun kommt mit der Verleihung der Otto-Appel-Denkmünze in diesem Jahr die höchste Ehrung hinzu, die der deutsche Pflanzenschutz zu vergeben hat.

Dr. Backhaus hat sich in der Zeit seines vielfältigen und erfolgreichen Wirkens um den Pflanzenschutz äußerst verdient gemacht. Mit seinem Werdegang vom praktischen Gärtner über das Studium der Gartenbauwissenschaften mit Promotion im Fachgebiet Phytopathologie und nachfolgender Tätigkeit im Pflanzenschutzdienst bis hin zum Institutsleiter an der Biologischen Bundesanstalt und zuletzt als Präsident des Julius Kühn-Instituts kannte Dr. Backhaus alle Sparten des Pflanzenschutzes sehr gut und konnte somit auf deren Bedürfnisse fundiert eingehen. Er war dabei stets um einen fairen Interessensausgleich zwischen den teilweise gegensätzlichen Positionen bemüht. Die Belange des praktischen Pflanzenschutzes hat er jedoch nie aus den Augen verloren. Mit einem guten Augen-

maß für das fachlich Notwendige und gesellschaftlich Machbare verfolgte er zielstrebig die konsequente Weiterentwicklung effizienter und langfristig tragfähiger Pflanzenschutzkonzepte. Seine Entscheidungen waren wissenschaftsbasiert und zeichneten sich stets durch eine hohe Sachkenntnis und Praxis-tauglichkeit aus. Seine umfassenden Erfahrungen im Bereich der anwendungsbezogenen Wissenschaft, der Politikberatung und den behördlichen Aufgaben des Pflanzenschutzes machten ihn zu einem umsichtigen und fachkundigen Moderator in einem vielschichtigen Umfeld - vielfältig im Hinblick auf die zahlreichen Disziplinen der Phytomedizin und des Pflanzenschutzes, facettenreich aber auch im Hinblick auf die in diesem Sektor tätigen Akteure, angefangen von der Politik, den Ministerien und Behörden in Bund und Ländern, der Wissenschaft, der Wirtschaft bis hin zur Praxis. Zum Zusammenhalt dieses heterogenen Sektors hat Herr Dr. Backhaus als von allen Seiten anerkannter Brückenbauer maßgeblich beigetragen. Bei den alle zwei Jahre stattfindenden Deutschen Pflanzenschutztagungen und den jährlichen Sitzungen des Deutschen Pflanzenschutzdienstes unter seiner Leitung hat Dr. Backhaus immer wieder entscheidende Impulse gesetzt und die Vernetzung gefördert. Vor diesem Hintergrund hat die "große Familie des Pflanzenschutzes" in Deutschland Dr. Backhaus viel zu verdanken.

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Julius Kühn-Instituts gratulieren Herrn Dr. Backhaus sehr herzlich zur Auszeichnung mit der Otto-Appel-Denkmünze im Jahr 2020.

(Frank ORDON, JKI Quedlinburg)

Datum/Ort	Thema	Veranstalter/Kontakt
17. – 24.07.2020 Helsinki	XXVI International Congress of Entomology – ICE2020	https://ice2020helsinki.fi/
27. – 31.07.2020 Washington, DC	Plant Biology 2020	https://plantbiology.aspb.org/ Veranstalter: American Society of Plant Biologists Kontakt: info@aspb.org
09. – 11.09.2020 Hague, Netherlands	Plant Health, Agriculture & Bioscience Conference (PHAB 2020). The Hague, the Netherlands; CABI; Koppert Biological Systems	https://phab2020.com/
29. – 30.09.2020 Neustadt an der Weinstraße	41. Tagung des Arbeitskreises Phytobakteriologie	https://plant-protection.net/de/arbeitskreise/phytobakteriologie Veranstalter: DPG Kontakt: Dennis Mernke, Jan Nechwatal E-Mail: dennis.mernke@ltz.bwl.de , jan.nechwatal@LfL.bayern.de
28. – 29.10.2020 Braunschweig	Urbane Pflanzen Konferenzen. Wir gestalten die Stadt der Zukunft. Aus dem Garten auf den Tisch: wieviel wächst auf engem Raum?	https://plant-protection.net/de/upc/ Veranstalter: DPG E-Mail: Feldmann@phytomedizin.org
24. – 25.11.2020 Schwentinental	38. Jahrestagung des Arbeitskreises Nutzarthropoden und entomopathogene Nematoden	https://plant-protection.net/de/arbeitskreise/nutzarthropoden Veranstalter: DPG Kontakt: Annette Herz, Ralf-Udo Ehlers E-Mail: annette.herz@julius-kuehn.de , ehlers@e-nema.de
15. – 24.01.2021 Berlin	Internationale Grüne Woche Berlin	https://www.gruenewoche.de/de/DieMesse/ Kontakt: igw@messe-berlin.de
25. – 26.01.2021 Braunschweig	34. Tagung des Arbeitskreises Krankheiten in Getreide und Mais	https://plant-protection.net/de/arbeitskreise/getreidekrankheiten Veranstalter: DPG Kontakt: Bernd Rodemann, Ruben Gödecke E-Mail: Bernd.Rodemann@julius-kuehn.de , Ruben.Goedecke@rpgi.hessen.de
09. – 10.02.2021 Braunschweig	33. Jahrestagung des Arbeitskreises Raps	https://plant-protection.net/de/arbeitskreise/raps Veranstalter: DPG Kontakt: Holger Kreye, Meike Brandes E-Mail: Holger.Kreye@lwk-niedersachsen.de , meike.brandes@julius-kuehn.de
10. – 11.02.2021 Braunschweig	31. Jahrestagung des Arbeitskreises Schädlinge in Getreide, Mais & Leguminosen	https://plant-protection.net/de/arbeitskreise/getreideschaedlinge Veranstalter: DPG Kontakt: Stefan Krüssel, Jörn Lehmus E-Mail: stefan.Kruessel@lwk-niedersachsen.de , joern.lehmus@julius-kuehn.de



ulmer

GRUNDLAGENWISSEN

kompakt und anschaulich



Die Pflanzenzüchtung als Teilgebiet der Pflanzenproduktion ist Gegenstand agrarwissenschaftlicher Studiengänge. Themen des Lehrbuchs sind Aufgaben der Pflanzenzüchtung, wichtige Zuchtziele, genetische Grundlagen, Quellen genetischer Variation, verschiedene Sortentypen u.v.m. In der 3. Auflage wurden die Methoden der genomischen Selektion und der Genomeditierung eingearbeitet.

Pflanzenzüchtung.

H. Becker. 3., vollst. überarb. Auflage 2019. 367 Seiten, 112 Abbildungen, 63 Tabellen, kart. € 29,99 (D)

Änderungen und Irrtümer vorbehalten.

Von der Bodenbearbeitung über Saattechniken, Düngung, Pflanzenschutz und Bewässerung bis hin zur Ernte von Lang- und Kurzgut, Getreide, Kartoffeln und Zuckerrüben – mit diesem modern gestalteten Titel gelingt der Einstieg ins Studium ohne spezielle Vorkenntnisse.

Ein einheitlicher Kapitelaufbau mit Lernzielen, didaktischen Boxen, Definitionen, Merksätzen, Zusammenfassungen am Kapitelende und zahlreiche eingängige Illustrationen erleichtern das Lernen. Prüfungsfragen zur Überprüfung des Lernerfolgs festigen das erlernte Wissen.

Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion.

K. Köller, O. Hensel (Hg.). 293 Seiten, 209 Abbildungen, 41 Tabellen, kart. € 39,99 (D)



Erhältlich in Ihrer Buchhandlung oder unter www.ulmer.de | www.utb-shop.de

Journal für Kulturpflanzen

Journal of Cultivated Plants

Inhalt Band 72, Heft 7/2020

Themenheft Dauerfeldversuche: Grundlage für die Landwirtschaft der Zukunft – 25 Jahre Dahnsdorf

Dauerfeldversuche: Grundlage für die Landwirtschaft der Zukunft – 25 Jahre JKI-Versuchsstation Dahnsdorf	HELLA KEHLENBECK	257
Historie – Ein Blick zurück oder wie alles begann	JÜRGEN SCHWARZ, BERNHARD PALLUTT	259
Ackerbaustrategie 2035 des BMEL	HOLGER BEER, LORENZ KOTTMANN	262
Erkenntnisse und Perspektiven eines 23-jährigen Dauerfeldversuches zum integrierten Pflanzenschutz gegen pilzliche Schaderreger im Winterweizen	BETTINA KLOCKE, CHRISTINA WAGNER, JÜRGEN SCHWARZ	265
Dauerfeldversuche zum notwendigen Maß bei der Anwendung von Insektiziden im Winterapps – Was lernen wir aus 25 Jahren?	SANDRA KRENGEL-HORNEY, JÖRN STRASSEMAYER, JÜRGEN SCHWARZ	279
Pflanzenschutzkonzepte für den Ökologischen Landbau weiterentwickeln – aus der Forschung für die Praxis	STEFAN KÜHNE, JÜRGEN SCHWARZ, BRITTA FRIEDRICH, CLARA BOENINGER, SUSANN POPHAL, SOPHIE STEITMANN, ISABELLA KARPINSKI	290
Fruchtfolge versus Monokultur: Betriebswirtschaftliche Betrachtung eines Dauerfeldversuches im Roggenanbau über 18 Jahre	ISABELLA KARPINSKI, REBECCA RIDDER, SANDRA RAJMIS, JÜRGEN SCHWARZ, BETTINA KLOCKE, HELLA KEHLENBECK	298
Einfluss von Pflanzenschutzstrategie und Bodenbearbeitung auf den CO ₂ -Fußabdruck von Weizen	TIL FEIKE, LUDWIG RIEDESEL FREIHERR ZU EISENBACH, ROBIN LIEB, DOREEN GABRIEL, DIMA SABBOURA, ASHIFUR RAHMAN SHAWON, MAX WETZEL, BETTINA KLOCKE, SANDRA KRENGEL-HORNEY, JÜRGEN SCHWARZ	311
Auswirkungen von natürlichen Standortbedingungen und ackerbaulichen Maßnahmen auf Bodenorganismen – Erhebungen in den Langzeitversuchen des Julius Kühn-Instituts in Dahnsdorf (Hoher Fläming, Land Brandenburg)	NADINE HERWIG, DIETER FELGENTREU, BERND HOMMEL	327

Personalien

Verleihung der Otto-Appel-Denk Münze im Jahr 2020 an Herrn Dr. Georg F. Backhaus (FRANK ORDON)		338
--	--	-----

Termine und Veranstaltungen

340

Unser Titelbild: Blick über das Versuchsfeld in Dahnsdorf, Foto: Doreen König, JKI.

Die Bilder werden unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) zur Verfügung gestellt.