

## **Chemische Regulierung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in der Wintergerste – Erfahrungen aus einer 30-jährigen Versuchsserie**

### *Chemical regulation of black-grass (*Alopecurus myosuroides*) in winter barley – experiences from a 30-year series of field trials*

Klaus Gehring\*, Stefan Thyssen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, 85354 Freising

\*klaus.gehring@lfl.bayern.de

DOI: 10.5073/20220124-065703

### **Zusammenfassung**

Die chemische Unkrautregulierung ist eine wesentliche Produktionsmaßnahme im konventionellen Anbau von Wintergerste. Besondere Herausforderungen bestehen dabei auf Standorten mit *Alopecurus myosuroides*-Besatz (Acker-Fuchsschwanz). Der Bayerische Pflanzenschutzdienst hat im Zeitraum von 1990 bis 2019 ein Versuchsprogramm zur Regulierung von *A. myosuroides* in Wintergerste durchgeführt. Auf 139 Standorten wurden unterschiedliche Herbizidbehandlungen für eine effiziente Regulierung von *A. myosuroides* geprüft. Im Mittel über alle Behandlungen wurde ein Wirkungsgrad von 85 % erreicht. Hierdurch konnte eine durchschnittliche Ertragsabsicherung von 140 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle erzielt werden. Herbizidbehandlungen auf der Basis von blattaktiven Herbiziden aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren (HRAC: 1) waren Anwendungen von primär bodenaktiven Herbiziden in der Bekämpfungsleistung überlegen. Weitere wesentliche Einflussfaktoren für die Regulierungsleistung waren die Besatzdichte und der Grad der ACCase-Resistenz von *A. myosuroides*. Für die nachhaltige Anbaufähigkeit von Wintergerste auf Standorten mit *A. myosuroides* sind die Umsetzung eines konsequenten Resistenzmanagements und die Verfügbarkeit von leistungsfähigen, blattaktiven ACCase-Inhibitoren für die Regulierung von *A. myosuroides* unverzichtbar.

**Stichwörter:** ACCase-Inhibitoren, *Alopecurus myosuroides*, Herbizide, Herbizidresistenz, Unkrautbekämpfung

### **Abstract**

Chemical weed control is an essential tool in conventional cultivation of winter barley. Particular challenges exist on sites with *Alopecurus myosuroides* (blackgrass). The Bavarian Plant Protection Service conducted an experimental program investigating the chemical control of *A. myosuroides* in winter barley from 1990 to 2019. Different herbicide treatments were tested for their efficacy on *A. myosuroides* at 139 sites. On average, 85% efficacy was achieved over all treatments. This resulted in an average yield protection of 140% compared to untreated control. Herbicide control based on foliar herbicides belonging to the group of ACCase inhibitors (HRAC: 1) showed higher efficacy compared to prevailing soil-active herbicides. Other significant factors influencing *A. myosuroides* control were stocking density and the degree of ACCase resistance of *A. myosuroides*. For the sustainable cultivation of winter barley on sites with *A. myosuroides*, the implementation of a consistent resistance management and the availability of powerful, foliar-active ACCase inhibitors for the regulation of *A. myosuroides* are indispensable.

**Keywords:** ACCase-Inhibitors, *Alopecurus myosuroides*, herbicides, herbicide resistance, weed control

### **Einleitung**

Die Wintergerste ist in Deutschland nach dem Winterweizen die bedeutendste Getreideart. Die Anbaufläche liegt derzeit bei 1,25 Mio. Hektar (ha) und entspricht damit 21 % der Getreideanbaufläche. In Bayern beträgt die Anbaufläche von Wintergerste 212 000. Hektar, was ebenfalls einen Anteil von 20 % der

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online bayerischen Getreideanbaufläche entspricht (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2021). Wintergerste wird vorrangig als Futtergrundlage in der Veredelungswirtschaft verwertet. Die Wirtschaftlichkeit wird durch die Nachfrage aus der Futtermittelbranche und durch die innerbetriebliche Vorzüglichkeit bestimmt. Aspekte der Fruchtfolgegestaltung sind hier ebenfalls relevant. Bei einer aktuellen Deckungsbeitragsleistung von 230 € ha<sup>-1</sup> (LFL, 2021) sind die produktionstechnischen Spielräume sehr begrenzt. Ertragsverluste müssen durch möglichst kostengünstige Produktionstechniken verhindert werden. Hierbei hat die effiziente Unkrautregulierung eine große Bedeutung. Aufgrund der zunehmenden Ausbreitung und dem hohen Konkurrenzdruck steht die Regulierung von *A. myosuroides* (Acker-Fuchsschwanz) besonders im Fokus. Der Bayerische Pflanzenschutzdienst hat daher seit den 1990er Jahren eine produktionstechnische Versuchsserie zur effizienten Regulierung von *A. myosuroides* in der Wintergerste durchgeführt. Aufgrund der fehlenden herbizidtechnischen Innovationen wurde das Versuchsprogramm schließlich im Jahr 2019 eingestellt. In der vorliegenden Arbeit werden die wesentlichen Ergebnisse dieser dreißigjährigen Versuchsserie zusammenzufassen.

## Material und Methoden

In Feldversuchen wurden möglichst effiziente Herbizide und Herbizidkombinationen zur Unkrautregulierung auf Standorten mit *A. myosuroides* als Leitunkraut auf Basis der jeweils am Markt verfügbaren Präparate geprüft. Die Exaktversuche wurden gemäß der EPPO-Richtlinie PP 1/93 (EPPO, 2007) durchgeführt. Erhobene Ertragsdaten wurden varianzanalytisch und Boniturdaten mittels verteilungsfreier Rangvarianzanalyse ausgewertet (UNISTAT LTD., 2015). Ab dem Versuchsjahr 2004 wurden systematisch Resistenzuntersuchungen durchgeführt. Es erfolgten Biotests unter Labor- und Gewächshausbedingungen (GEHRING et al., 2020).

Im Untersuchungszeitraum von 1990 bis 2019 wurden in Bayern 139 Feldversuche mit insgesamt 1554 Behandlungen durchgeführt. Die hierbei eingesetzten Herbizidwirkstoffe zur Regulierung von *A. myosuroides* stammen aus lediglich vier unterschiedlichen Wirkmechanismusgruppen (HRAC, 2021; Tab. 1). Die Wirkstoffe Fenoxaprop-P und Isoproturon sind derzeit in Deutschland nicht mehr zugelassen.

Die Behandlungsvarianten bestanden zum Teil aus der Soloanwendung von Breitbandherbiziden mit Wirkung gegen mono- und dikotyle Unkräuter, meist handelte es sich aber um Tankmischungen oder Spritzfolgen aus Kombinationen verschiedener Präparate. Einzelne Varianten wurden in der Regel über einen Zeitraum von drei Jahren geprüft. Die Konzeption der Varianten erfolgte nach dem jeweils verfügbaren Präparatespektrum, mit dem Ziel einer möglichst effektiven Regulierung von *A. myosuroides* und variieren daher im 30-jährigen Versuchszeitraum.

**Tabelle 1** In den Versuchen eingesetzte Herbizidwirkstoffe zur Regulierung von *A. myosuroides*

**Table 1** Active substances used in the experiments for the regulation of *A. myosuroides*

Wirkstoff	HRAC-Gruppe	Versuchs-periode
Chlortoluron	5	1990-2019
Fenoxaprop-P*	1	1996-2016
Flufenacet	15	1997-2019
Isoproturon*	5	1990-2014
Pendimethalin	3	1990-2019
Pinoxaden	1	2005-2019
Prosulfocarb	15	1990-2019

HRAC = Herbicide Resistance Action Committee (HRAC, 2021), \*nicht mehr zugelassen

Die Herbizidbehandlungen erfolgten in unterschiedlichen Anwendungsverfahren:

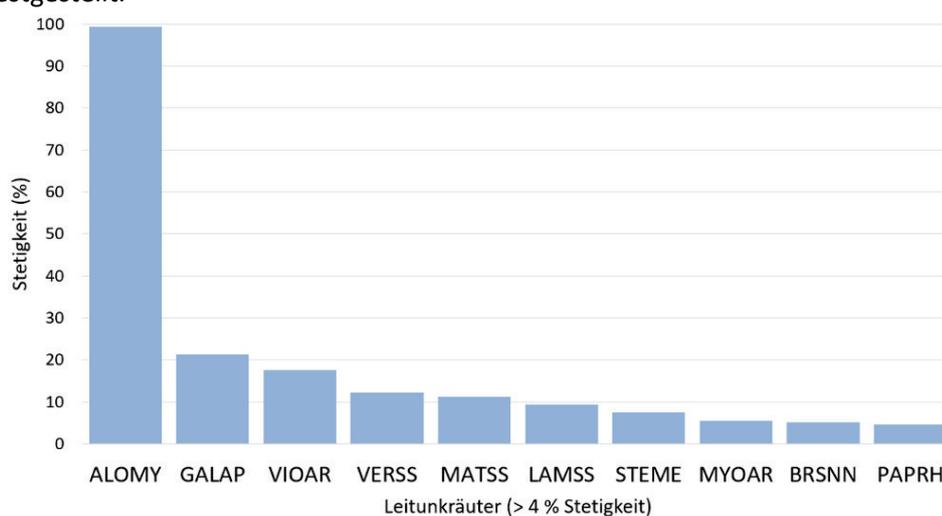
- Im Voraufbau (VA)
- Nach dem Auflaufen im Keimblattstadium (NAK)
- Nach dem Auflaufen im Herbst (NAH)
- Nach dem Auflaufen im Frühjahr (NAF)
- Spritzfolge Herbst/Frühjahr (VA-NAH/NAF)

Bei den frühen Anwendungsterminen im VA bis NAK wurden vor allem bodenaktive Herbizide eingesetzt, bei NAH- und Spritzfolgebehandlungen wurden boden- und blattaktive Herbizide kombiniert und bei NAF-Behandlungen kamen nur blattaktive Herbizide aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren zum Einsatz.

## Ergebnisse

### Unkrautvorkommen und Ertragsauswirkungen

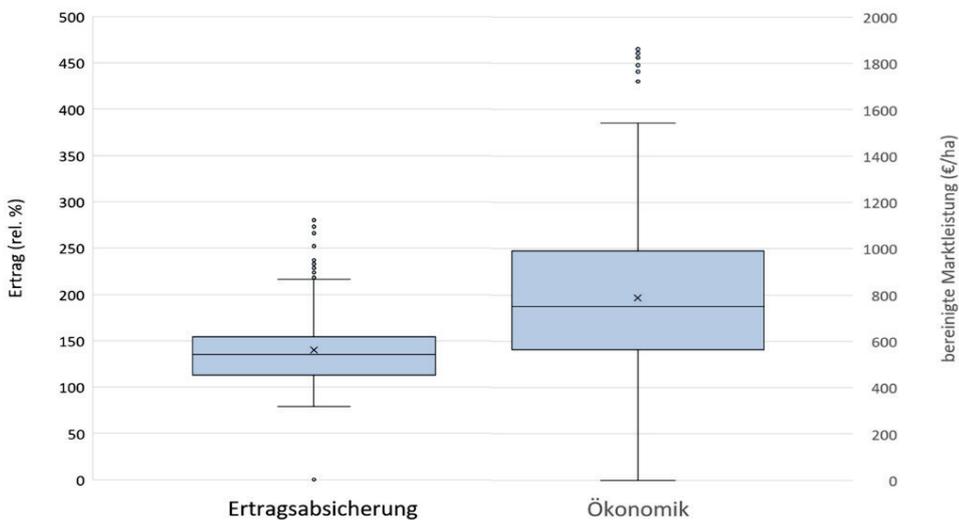
Das Unkrautspektrum war stark vom Besatz mit *A. myosuroides* dominiert (Abb. 1). Als weitere Leitunkräuter waren mit einer Stetigkeit von etwa 10-20 % noch *Galium aparine*, *Viola arvensis*, *Veronica sp.*, *Matricaria sp.* und *Lamium sp.* von Bedeutung. Auf über 45 % der Versuchsstandorte trat nur *A. myosuroides* als Leitunkraut auf. Auf jeweils rund 20 % der Standorte wurden zwei bzw. drei Leitunkräuter festgestellt.



**Abbildung 1** Unkrautspektrum in Wintergerste auf Standorten mit *A. myosuroides* als Leitunkraut. Stetigkeit (%), Mittelwerte aus 139 Feldversuchen in Bayern von 1990-2019.

**Figure 1** Spectrum of weeds in winter barley on sites with *A. myosuroides* as leading weed. Species constancy (%), mean values for 139 field trials in Bavaria from 1990-2019.

Auf 72 Versuchsstandorten erfolgte eine Ertragsenerhebung, wodurch die ökonomische Effizienz der Herbizidbehandlung bewertet werden konnte (Abb. 2). Eine Ertragsabsicherung von  $\bar{x}$  140 % im Verhältnis zur unbehandelten Kontrolle entsprach dabei einer Steigerung des Naturalertrags um  $\bar{x}$  18,3 dt ha<sup>-1</sup> (SD 12,2 dt ha<sup>-1</sup>). Eine hieraus resultierende bereinigte Marktleistung von  $\bar{x}$  825 € ha<sup>-1</sup> (SD 303 € ha<sup>-1</sup>) belegt einerseits die hohe Vorzüglichkeit des Herbizideinsatzes, auf der anderen Seite aber auch die Abhängigkeit im Anbau von Wintergerste von einer effektiven chemischen Unkrautregulierung.



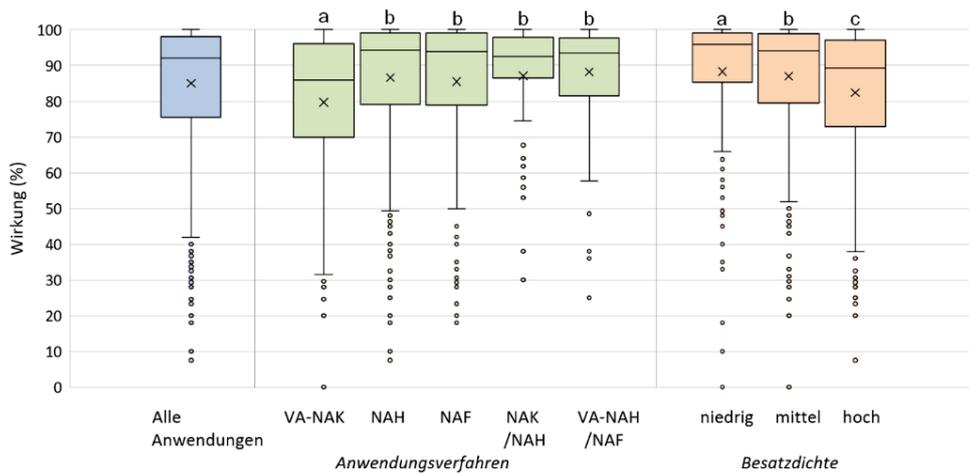
**Abbildung 2** Ertragsabsicherung und Ökonomik der chemischen Regulierung von *A. myosuroides* in Wintergerste, Box-Plot-Verteilungscharakteristik, 72 Feldversuche in Bayern von 1990-2019.

**Figure 2** Yield protection and economic efficiency of chemical regulation of *A. myosuroides* in winter barley, box plot distribution characteristics, 72 field trials in Bavaria from 1990-2019.

### Kontrolle von *A. myosuroides*

Über alle Behandlungsvarianten hinweg wurde *A. myosuroides* zu  $\bar{x}$  85 % (SD 17,5 %; MED 92,1 %) bekämpft. Eine Veränderung dieser durchschnittlichen Bekämpfungsleistung konnte innerhalb der Versuchsperiode nicht festgestellt werden, das heißt, dass sich die Bekämpfbarkeit von *A. myosuroides* in der Wintergerste im Verlauf des Versuchsprogramms unabhängig von den eingesetzten Herbiziden nicht verbessert oder verschlechtert hat.

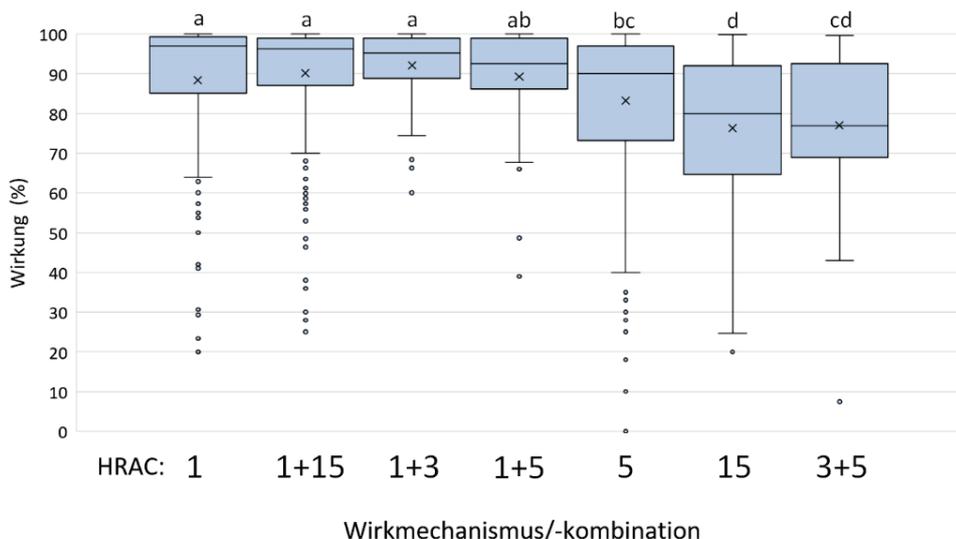
Ein Vergleich der Anwendungsverfahren zeigte, dass der Einsatz von bodenaktiven Herbiziden im Voraufbau bis sehr frühen Nachaufbau (NAK) eine signifikant geringere Regulierungsleistung als Anwendungen in Kombination mit boden- und blattaktiven Herbiziden im Nachaufbauverfahren bzw. in Spritzfolgen erzielte (Abb. 3). Eine Untersuchung der Regulierungsleistung je nach Besatzdichte von *A. myosuroides* (niedrig < 100, mittel 100-500, hoch > 500 Ähren/m<sup>2</sup>) ergab eine signifikante Differenzierung zwischen den einzelnen Besatzdichte-Gruppen. Während eine Wirkung von  $\bar{x}$  88,3 % (SD 17,6 %; MED 95,8 %) bei niedrigem Besatz von *A. myosuroides* bereits als grenzwertig eingestuft werden kann, ist sie mit  $\bar{x}$  82,4 % (SD 18,6 %; MED 89,2 %) bei hohen Besatzdichten als völlig unzureichend zu bewerten (Abb. 3).



**Abbildung 3** Regulierung von *A. myosuroides* in Wintergerste mit Differenzierung nach Herbizid-Anwendungsverfahren und Besatzdichte von *A. myosuroides*. 139 Versuche, Bayern 1990-2019, n=1542, Box-Plot-Verteilungscharakteristik mit Rangvarianzanalyse Kruskal-Wallis one-way ANOVA.

**Figure 3** Regulation of *A. myosuroides* in winter barley with differentiation by herbicide application method and stocking density of *A. myosuroides*. 139 field trials in Bavaria from 1990-2019, n=1542, box plot distribution characteristics with Kruskal–Wallis one-way analysis of variance.

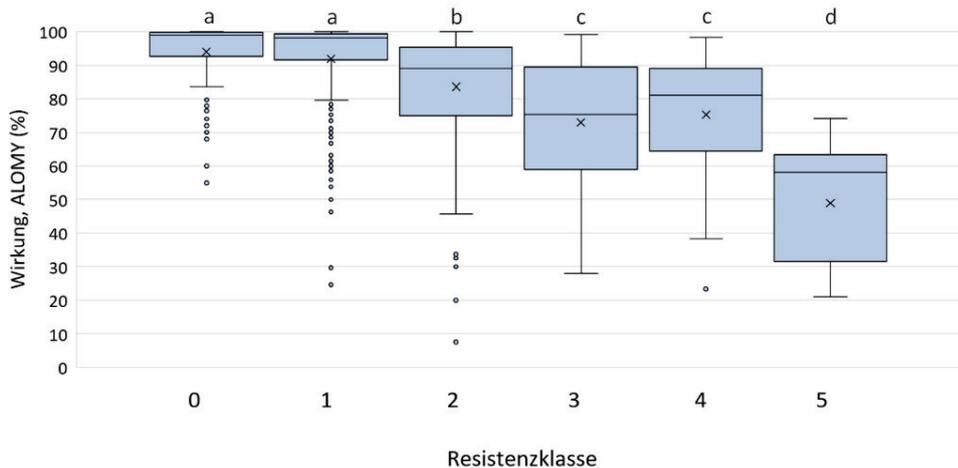
Im Vergleich der zur Regulierung von *A. myosuroides* eingesetzten Herbizidwirkstoffe bzw. Wirkmechanismusgruppen ergab sich eine signifikante Differenzierung in der Bekämpfungsleistung (Abb. 4). Die Anwendung von Wirkstoffen aus der HRAC-Gruppe 1 (ACCCase-Inhibitoren) erzielte als Einzelanwendung oder in Kombination mit Wirkstoffen der HRAC-Gruppe 3 (Hemmung der Bildung von Mikrotubuli und der Zellteilung), der HRAC-Gruppe 15 (Hemmung der Fettsäuresynthese) und der HRAC-Gruppe 5 (PSII-Inhibitoren) eine Bekämpfungsleistung im Bereich von  $\bar{\varnothing}$  88,4 bis 92,1 %. Anwendungen auf der Basis von Herbiziden aus der HRAC-Gruppe 5, 15 oder Kombinationen der Gruppe 3 und 5 konnten mit  $\bar{\varnothing}$  77,1 bis 83,3 % Wirkung nur eine deutlich schwächere Regulierungsleistung gegenüber *A. myosuroides* erreichen.



**Abbildung 4** Regulierung von *A. myosuroides* in Abhängigkeit der eingesetzten Herbizide bzw. deren Wirkmechanismus. 139 Feldversuche, Bayern 1990-2019, n=1217, Statistik siehe Abbildung 3.

**Figure 4** Regulation of *A. myosuroides* depending on the herbicides used and their mode of action. 139 field trials, Bavaria 1990-2019, n=1217, statistics see figure 3.

Als weiterer, wesentlicher Einflussfaktor für die Kontrolle von *A. myosuroides* in der Wintergerste konnte das Niveau der Resistenz gegenüber Herbiziden aus der HRAC-Gruppe 1 (ACCcase-Inhibitoren) identifiziert werden. Während Populationen mit einer noch vorhandenen bis zu einer nachlassenden Sensitivität (Resistenzklasse 0 bis 1, CLARKE et al. 1994) noch sehr effizient mit einer Wirkung von  $\bar{x}$  91,9 bis 94,1 % kontrolliert werden konnten, waren Populationen mit einer voll ausgeprägten Resistenz (Klasse 5) gegen ACCcase-Inhibitoren mit einer  $\bar{x}$  Wirkung von 48,9 % nicht mehr kontrollierbar (Abb. 5).



**Abbildung 5** Regulierung von *A. myosuroides* in Abhängigkeit vom Resistenzniveau gegenüber ACCcase-Inhibitoren. 72 Feldversuche, Bayern 2004-2019, n=821, Statistik siehe Abbildung 3.

**Figure 5** Regulation of *A. myosuroides* as a function of resistance to ACCcase inhibitors. 72 field trials, Bavaria 2004-2019, n=821, statistics see figure 3.

In Tabelle 2 sind im Versuchsprogramm geprüfte und derzeit zugelassene bzw. am Markt verfügbare Herbizide und Herbizid-Kombinationen nach dem mittleren Wirkungsgrad (MW) gegen *A. myosuroides* aufgelistet. Der Großteil der Behandlungsvarianten besteht aus Tankmischungen oder Spritzfolgen mit dem Präparat Axial 50® (Wirkstoff: Pinoxaden, HRAC-Gruppe 1). Insbesondere die leistungsfähigsten Behandlungsvarianten mit einer  $\bar{x}$  Wirkung gegen *A. myosuroides* von  $\geq 90$  % sind ausnahmslos Kombinationen mit diesem Präparat aus der Gruppe der ACCcase-Inhibitoren.

Die hier aufgeführten Versuchsergebnisse belegen die sehr hohe Abhängigkeit der Regulierung von *A. myosuroides* in der Wintergerste von der Verfügbarkeit von Pinoxaden und dessen uneingeschränkter Leistung ohne Wirkungseinschränkungen aufgrund von ACCcase-Resistenzen. Diese bereits begrenzte Bekämpfbarkeit ist von einer dynamischen Entwicklung der ACCcase-Resistenz von *A. myosuroides* gefährdet (GEHRING et al., 2020). Die festgestellte Bekämpfungsleistung der in Tabelle 2 aufgelisteten Behandlungsvarianten hat daher auch einen zeitlichen Aspekt. Varianten, die zu Beginn der Versuchsperiode eingesetzt wurden (Bsp.: V-1) waren gegenüber Varianten, die am Ende der Versuchsperiode geprüfte wurden (Bsp.: V-15) aufgrund der noch geringeren Resistenzproblematik relativ bevorteilt. Die konsequente und nachhaltige Umsetzung eines standort- und betriebspezifischen Resistenzmanagements ist für eine ausreichende Regulierung von *A. myosuroides* in der Wintergerste und damit für die weitere Anbauwürdigkeit der Kultur unverzichtbar (GEHRING et al., 2012, ZWERTGER et al., 2017).

**Tabelle 2** Im Versuchsprogramm geprüfte und derzeit verfügbare Herbizide bzw. Herbizid-Kombinationen zur Regulierung von *A. myosuroides* in Wintergerste. Sortiert nach mittlerem Wirkungsgrad (%), 97 Feldversuche, Bayern 2000-2019, Statistik siehe Abb. 3

**Table 2** Herbicides or herbicide combinations tested in the experimental programme and currently available for the regulation of *A. myosuroides* in winter barley. Sorted by medium efficiency (%), 97 field trials, Bavaria 2000-2019, statistics see figure 3

Var.	Präparate	AWM (l ha <sup>-1</sup> )	Termin	MW (%)	SD (%)	Stat.	n
V-1	Stomp Aqua + Axial 50	2,5 + 0,9	NAH	96,4	8,6	a	18
V-2	Picona + Axial 50	2-2,5 + 0,9	NAH	95,4	9,7	a	17
V-3	Trinity + Axial 50	2,0 + 0,9	NAH	91,7	9,6	ab	10
V-4	Malibu + Axial 50	2-3,0 + 0,9	NAH	91,2	11,7	a	49
V-5	Herold SC / Axial 50	0,6 / 1,2	NAK/NAF	90,8	8,6	ab	13
V-6	Malibu + Boxer / Axial 50	3,0 + 2,0 / 1,2	NAK/NAF	89,4	6,6	ab	11
V-7	Malibu + Boxer	3,0 + 2,0	NAK	87,9	11,7	ab	10
V-8	Boxer + Axial Komplett	3,0 + 1,0	NAH	87,3	15,7	ab	17
V-9	Herold SC + Axial 50	0,6 + 0,9	NAH	86,5	15,6	ab	31
V-10	Stomp Aqua + Lentipur 700	2,0 + 3,0	NAK	86,2	16,5	ab	11
V-11	Herold SC + Boxer / Axial 50	0,6 + 3,0 / 1,2	NAK/NAF	85,5	16,9	ab	14
V-12	Carmina 640 + Axial 50	3,5 + 0,9	NAH	81,0	22,1	ab	10
V-13	Quirinus + Axial 50	1,0 + 0,9	NAH	77,1	24,7	ab	10
V-14	Malibu	4,0	NAH	77,0	17,9	b	60
V-15	Quirinus / Axial 50	1,0 / 1,2	NAK/NAF	74,2	24,6	ab	10

AWM = Aufwandmenge, Präparate (BVL, 2021)

## Literatur

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2021: LfL-Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten - Wintergerste. URL: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/wintergerste.html>.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2021: Unkrautmanagement im Getreidebau. URL: <https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/025554/index.php>.
- BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL), 2021: Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. URL: <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>.
- CLARKE, J.H., A.M. BLAIR, S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). *Aspects of Applied Biology* 37, 181-188.
- EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION (EPPO), 2007: EPPO-Guideline PP1/93 (3) Efficacy evaluation of herbicides – weeds in cereals. 5 pp.
- GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT, C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. *Julius-Kühn-Archiv* 434, 89-101.
- GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSSEN, 2020: Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern. *Julius-Kühn-Archiv* 464, 400-406.
- GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSSEN, 2020: Populationsdynamik und Resistenzentwicklung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Herbizidbehandlung. *Julius-Kühn-Archiv* 464, 319-325.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (HRAC), 2021: Global Herbicide Classification Lookup. URL:  
<https://hracglobal.com/tools/classification-lookup>.

INFORMATIONSSYSTEM INTEGRIERTE PFLANZENPRODUKTION E.V. (ISIP), 2021: ISIP Versuchsberichte. URL:  
<https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de/infothek/versuchsberichte/erweitert>.

STATISTISCHES BUNDESAMT, 2021: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Feldfrüchte und Grünland. URL:  
[https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/\\_inhalt.html#sprg478202](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/_inhalt.html#sprg478202).

UNISTAT LTD., 2015: User Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 p.

ZWERGER, P. et al., 2017: Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. *Journal für Kulturpflanzen* **69** (4), 146–149.