

Simulation zukünftig zu erwartender Wirkungsgrade von Herbiziden der HRAC-Klasse B gegenüber Windhalm in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsparametern

Simulation of expected future efficacy from HRAC group B herbicides against loose silky-bent grass, depending on cropping factors

Dominik Dicke^{1*}, Christian Henschke², Andreas Büchse³

¹Regierungspräsidium Gießen, Pflanzenschutzdienst Hessen, Schanzenfeldstraße 8, 35578 Wetzlar

²An den Gärten 2, 34311 Heimarshausen

³Siedlerstraße 31, 67292 Kirchheimbolanden

*Korrespondierender Autor, dominik.dicke@rpgi.hessen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.015



Zusammenfassung

Das hessische Windhalm-Resistenzmonitoring aus dem Jahr 2014 zeigte, dass Resistenzen gegenüber Herbiziden der HRAC-Klasse B landesweit verbreitet sind. Daten von am Monitoring beteiligten Schlägen wurden herangezogen, um Bewirtschaftungsparameter wie z. B. Saattermin, Anteil Pflug in der Fruchtfolge u.a. zu identifizieren, welche den Wirkungsgrad und damit die Bildung von Resistenzen beeinflussen können. Korrelationen zwischen Bewirtschaftungsparametern und dem jeweils im Biotest erzielten Wirkungsgrad gegen Windhalm wurden berechnet. Daraufhin folgte ein Modellbildungsprozess, um Wirkungsgrade in Abhängigkeit der o. g. Einflussfaktoren simulieren zu können. Die Modellergebnisse zeigen, dass beispielsweise eine Erhöhung des Anteils von Herbiziden der HRAC-Klasse B in der Fruchtfolge zu einem hohen Wirkungsverlust führt. Um diesen Effekt zu neutralisieren, müsste der Pfluganteil steigen und der Anteil an Winterungen in der Fruchtfolge sinken. Das Modell sollte auf weitere Datensätze angewendet und weiter trainiert werden, um Strategien zur Resistenzvermeidung voran zu treiben.

Stichwörter: ALS-Hemmer, Gemeiner Windhalm, Herbizide, HRAC-Klasse B, Modell, Simulation, Wirkort-resistenz

Abstract

Results from the resistance monitoring on loose silky-bent grass conducted in 2014 in Hessen showed that resistance against herbicides from HRAC group B is disseminated throughout the federal state. Cropping data like seeding date, ploughing intensity etc. were collected for fields involved in the monitoring in order to identify the impact of such cropping practices on herbicide efficacy and evolution of resistance. Correlations were calculated between field cropping data and corresponding efficacy rates against loose silky-bent grass, generated from bioassays conducted in 2014. A simulation model was developed and validated to forecast efficacy rates in dependence of the collected cropping data. The simulation results demonstrate high efficacy losses if the proportion of herbicide from the HRAC group B will increase in the crop rotation. To neutralize the effect, ploughing intensity would have to increase and proportion of winter cereals should decrease. The simulation model should be applied to further datasets and further trained, to forward anti-resistance strategies.

Keywords: ALS-inhibitor, herbicides, HRAC group B, loose silky-bent, simulation, target-site resistance

Einleitung

Seit einigen Jahren treten auf hessischen Ackerflächen vermehrt Ungrasnester mit Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti*) auf. Diese Windhalmpflanzen sind oft unempfindlich gegenüber Herbiziden der HRAC-Klasse B, was durch die Ergebnisse des hessischen Resistenzmonitorings aus dem Jahr 2014 belegt wurde. In der Untersuchung wurden bei mehr als der Hälfte der in 2014 insgesamt 109 getesteten Biotypen nur sehr geringe Wirkungsgrade von Herbiziden der HRAC-Klasse B erzielt, die sich zwischen 0 % und 20 % bewegten. Die schlechten Wirkungsgrade waren in den meisten Fällen auf Mutationen zurückzuführen, welche eine Target-Site Resistenz gegenüber Wirkstoffen der HRAC-Klasse B verursachen (Dicke et al., 2016). Es stellt sich die Frage, wie eine weitere Ausbreitung von Resistenzen verlangsamt oder sogar verhindert werden kann. Dicke et al. (2014) fassten zusammen, welche ackerbaulichen Maßnahmen einer Ausbreitung von Resistenzen entgegenwirken. Insbesondere die Faktoren Saattermin, Fruchtfolgegestaltung und

Bodenbearbeitung nehmen hier Schlüsselpositionen ein. In der Agrarforschung werden Modelle eingesetzt, um den Einfluss von Faktoren des jeweiligen Interesses auf Zielvariablen zu simulieren. Ziel ist es, daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten. So wurden in der Vergangenheit einzelne Prozesse aus dem Unkrautzyklus (COUSENS and MORTIMER, 1995) modelliert, z.B. Wachstum und Konkurrenz (KROPPF und VAN LAAR, 1993) oder Keimung und Auflaufen (VLEESHOUWERS und BOUWMEESTER, 1993), mit dem Ziel, Verunkrautungssituationen für zukünftige Jahre abzuleiten. VON REDWITZ et al. (2016) nutzten ein Modell, um den Einfluss der unterdrückenden Wirkung einer Untersaat auf die Ausbildung von Herbizidresistenz bei Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) in einer Mais nach Mais Fruchtfolge zu simulieren. Die Ergebnisse zeigten eine schnellere Entwicklung der Herbizidresistenz spät auflaufender Biotypen, wenn sie durch eine Untersaat unterdrückt wurden. Gleichwohl konnte jedoch die Populationsdichte von *E. crus-galli* insgesamt durch Einbringen einer Untersaat reduziert werden. RUMMLAND et al. (2014) simulierten die Entwicklung einer Target-site resistenten Windhalm-Population in Abhängigkeit unterschiedlicher Herbizidstrategien. Die Modellausgaben wurden mit Beobachtungen aus Felddaten verglichen und konnten die im Feld gefundenen Resistenzbildungen wiedergeben. Bislang existieren jedoch nur wenige Informationen darüber, wie die Auswirkungen von ackerbaulichen Änderungen in Anbausystemen in Bezug auf die Resistenzbildung quantifiziert werden können. In der vorliegenden Arbeit wurde das Ziel verfolgt, an Hand von realen Betriebsdaten, Bewirtschaftungsparameter zu identifizieren, die mit der Ausbildung von Resistenzen in Verbindung stehen. Auf Basis der Daten wurden nach Bildung und Validierung eines Modells die zu erzielenden Wirkungsgrade in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsparametern simuliert. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, Bewirtschaftungsverfahren von Ackerbaubetrieben zu optimieren, um Resistenzproblemen langfristig vorzubeugen.

Material und Methoden

Erhebung von Bewirtschaftungsdaten

Landwirtschaftliche Betriebe, die im Rahmen des Resistenzmonitorings im Jahr 2014 (DICKE et al., 2016) Windhalmproben von ausgewählten Schlägen untersuchen ließen, wurden zur Bewirtschaftung der betreffenden Schläge befragt. Die Betriebe stellten Daten aus ihren Ackerschlagkarteien des Zeitraumes 2003-2013 (Beobachtungszeitraum) zur Verfügung. Daraus wurden folgende Parameter für den im Verlauf beschriebenen Modellbildungsprozess abgeleitet:

Saattermin

Der Saattermin orientierte sich innerhalb des Beobachtungszeitraumes auf dem jeweiligen Schlag am Aussaattermin des Winterweizens. Die Klasseneinteilung wurde wie folgt vorgenommen: Aussaat überwiegend bis 4. Oktober= früh (1). Aussaat überwiegend in der Zeit vom 5. Oktober-01. November= mittel (2). Aussaat überwiegend ab dem 2. November= spät (3).

Pfluganteil

Der „Pfluganteil“ gibt prozentual an, wie oft der untersuchte Schlag innerhalb des Beobachtungszeitraumes gepflügt wurde.

Anteil Winterungen

Der „Anteil Winterungen“ gibt prozentual an, wie oft auf dem untersuchten Schlag innerhalb des Beobachtungszeitraumes eine Winterung angebaut wurde.

Zeitpunkt des Herbizideinsatzes

Der Zeitpunkt des Herbizideinsatzes bezieht sich auf Winterweizen. Er gibt an, ob im Winterweizen überwiegend nur im Herbst (1), im Herbst und Frühjahr (2) oder nur im Frühjahr (3) eine Herbizidbehandlung durchgeführt wurde.

Anteil HRAC B

Der „Anteil HRAC B“ gibt prozentual an, wie häufig innerhalb des Beobachtungszeitraumes Herbizide der HRAC-Klasse B zum Einsatz kamen.

Wirkungsgrad

Im Resistenztest von 2014 (DICKE et al., 2016) wurden Wirkungsgrade unterschiedlicher Herbizide gegenüber Windhalmproben von Ackerschlägen nach ABBOTT (1925) ermittelt. Für die Modellbildung wurde aus dem Datensatz jeweils der Wirkungsgrad des Herbizides Atlantis WG + FHS mit den Wirkstoffen Meso- und Iodosulfuron herangezogen.

Die Daten wurden in einer Matrix den jeweils zugehörigen Wirkungsgraden gegenübergestellt. Insgesamt konnten Daten von 44 Schlägen über einen Zeitraum von 10 Jahren (2003-2013) erfasst werden. Die Matrix diente als Datenbasis für statistische Auswertungen und anschließende Modellbildung.

Tab. 1 Ausschnitt des Datensets zur Bewirtschaftung von Schlägen, die am Resistenzmonitoring von 2014 beteiligt waren (Zeitraum 2003-2013).

Tab. 1 Extract of cropping data for fields involved in the resistance monitoring of 2014 (period of time 2003-2013).

Schlag	Wirkungsgrad	Pfluganteil	Anteil Winterungen	Saattermin	Behandlungszeitpunkt	Anteil HRAC B
1	0.85	0.88	1	2	2	0.125
2	0.1	0.43	0.86	2	2	0.57
3	0.95	1	0.82	1	2	0.09
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
44	0.25	0	0.5	3	3	1

Legende: Wirkungsgrad, Pfluganteil, Anteil Winterungen, Anteil HRAC B: 0.0: 0%; 1.0: 100%. Saattermin (bezogen auf Winterweizen): 1: (bis 4. Oktober); 2: (bis 01. November); 3: (nach dem 2. November) Behandlungszeitpunkt (Herbizidbehandlung Winterweizen): 1: Nur Herbst; 2: Herbst und Frühjahr; 3: Nur Frühjahr.

Datenanalyse und statistisches Modell

Zwischen den sechs Variablen *Wirkungsgrad*, *Anteil Pflug*, *Anteil Winterungen*, *Saattermin*, *Behandlungszeitpunkt* und *Anteil HRAC B* wurde jeweils der bivariate Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet, um einen Überblick zu erhalten, welche der erhobenen Eigenschaften untereinander und zum Wirkungsgrad in Beziehung standen (Tab. 3).

Um die Bedeutung der erhobenen pflanzenbaulichen Parameter auf den Wirkungsgrad zu untersuchen, wurde ein lineares Regressionsmodell angepasst. Die als Prozentwert vorliegende abhängige Variable „Wirkungsgrad“ wurde in den logit-Wert transformiert, um die Modellvoraussetzungen Additivität, Normalverteilung der Residuen und Varianzhomogenität zu erreichen: „*Logit Wirkungsgrad* = $\log(\text{Wirkungsgrad} / (1 - \text{Wirkungsgrad}))$). Die übrigen Variablen blieben untransformiert.

Für die Modellselektion wurden die fünf Haupteffekte *Anteil Pflug*, *Anteil Winterungen*, *Saattermin*, *Behandlungszeitpunkt* und *Anteil HRAC B* sowie deren Interaktionen erster Ordnung betrachtet. Damit ergaben sich insgesamt $5 + (5 \cdot 4) / 2 = 15$ potentielle Modellterme.

Es wurden dann wiederholt jeweils 75 % der 44 zur Verfügung stehenden Beobachtungen als Stichprobe gezogen und mittels schrittweiser Vorwärts-Selektion das Modell selektiert, welches für die Stichprobe die beste Vorhersagegüte hinsichtlich des korrigierten Akaike Informationskriteriums (AICc) zeigte. Bei 1000 Zufallsstichproben von jeweils 33 Beobachtungen wurden *Pfluganteil*, *Anteil HRAC B*, *Anteil Winterungen*, *Behandlungszeitpunkt* sowie die Interaktionen *Anteil HRAC B***Pfluganteil*, *Anteil Winterungen***Pfluganteil* und *Behandlungszeitpunkt***Pfluganteil* in mindestens 20 % der Fälle selektiert. Der Effekt des

Saattermins und weitere Interaktionen spielten dagegen eine untergeordnete Rolle und wurden in weniger als 5 % der Stichproben als Modellterme ausgewählt.

Das so selektierte Modell mit vier Haupteffekten und drei Interaktionen wurde abschließend an allen 44 Beobachtungen trainiert und es wurden die erhaltenen Schätzwerte der Modellparameter verwendet, um den Erwartungswert des Wirkungsgrades für unterschiedliche pflanzenbauliche Szenarien zu berechnen.

Tab. 2 Regressionskoeffizienten (Logit-Skala) des selektierten Modells.

Tab. 2 Regression coefficients (logit-scala) of selected model.

Effekt	Koeffizient	Standardfehler	FG	t-Wert	Pr > t
Intercept	-1,9056	1,1804	34	-1,61	0,1157
Pflug	11,7373	2,4576	34	4,78	<.0001
Wirkortklasse_B	0,7436	0,9925	34	0,75	0,4589
Pflug*Wirkortklasse_B	-11,8636	1,7675	34	-6,71	<.0001
Winterungen	-1,1033	1,0758	34	-1,03	0,3123
Pflug*Winterungen	-0,9754	2,7070	34	-0,36	0,7208
Behandlungszeitpunkt 1	4,1075	1,0646	34	3,86	0,0005
Behandlungszeitpunkt 2	0,3352	0,4345	34	0,77	0,4458
Behandlungszeitpunkt 3	0				
Pflug*Behandlungszeit. 1	-10,1259	1,9239	34	-5,26	<.0001
Pflug*Behandlungszeit. 2	-3,6880	1,0654	34	-3,46	0,0015
Pflug*Behandlungszeit. 3	0				

Die Scoringfunktion zur Bewertung neuer Schläge lautet damit:

Behandlungszeitpunkt 1: **E(logit_Wirkung)** = 2.20 + 1.61*Pfluganteil - 1.10*Anteil_Winterungen - 0.98*Pfluganteil*Anteil_Winterungen + 0.74*Anteil_HRAC B - 11.86*Pfluganteil*Anteil_HRAC B

Behandlungszeitpunkt 2: **E(logit_Wirkung)** = -1.57 + 8.05*Pfluganteil - 1.10*Anteil_Winterungen - 0.98*Pfluganteil*Anteil_Winterungen + 0.74*Anteil_HRAC B - 11.86*Pfluganteil*Anteil_HRAC B

Behandlungszeitpunkt 3: **E(logit_Wirkung)** = -1.91 + 11.74*Pfluganteil - 1.10*Anteil_Winterungen - 0.98*Pfluganteil*Anteil_Winterungen + 0.74*Anteil_HRAC B - 11.86*Pfluganteil*Anteil_HRAC B

Die Rücktransformation der Logitwerte auf die Prozentskala erfolgt über die Formel:

$$p = e^{\text{logit}} / (1 + e^{\text{logit}})$$

Die Datenanalyse wurde mit den Prozeduren CORR, SGPLOT, GLM, GLMSELECT und MIXED aus dem Statistikpaket SAS, Version 9.4 M2 durchgeführt (SAS INSTITUTE 2013, 2014).

Ergebnisse

Beziehungen zwischen Bewirtschaftungsparametern und Wirkungsgrad

Die folgende Tabelle 3 zeigt die paarweisen Korrelationen zwischen Bewirtschaftungsparametern. Bei den paarweisen Korrelationen zeigte sich, dass „Anteil Pflug“ mit dem Wirkungsgrad positiv und „Anteil HRAC B“ mit dem Wirkungsgrad negativ korreliert waren. Die anderen drei Variablen zeigten keine enge Beziehung zum Wirkungsgrad. Ferner bestanden Korrelationen zwischen „Anteil Winterungen“ und „Zeitpunkt Behandlung“ sowie zwischen „Anteil HRAC B“ und „Zeitpunkt Behandlung“. Der Behandlungszeitpunkt sollte in seiner Wirkung daher vorsichtig und nicht unabhängig vom Anteil der Winterungen in der Fruchtfolge und dem Anteil von Herbiziden der HRAC-Klasse B interpretiert werden, da er mit diesen verbunden ist. Es bestand zudem eine negative Korrelation zwischen Pfluganteil und Anteil von Herbiziden der HRAC-Klasse B, d.h. bei seltenem Pflugeinsatz werden vermehrt Herbizide mit der Wirkortklasse B eingesetzt.

Tab. 3 Korrelationskoeffizienten nach Pearson, N=44.**Tab. 3** Pearsons Correlation Coefficients, N=44.

	Wirkungsgrad	Anteil Pflug	Anteil Winterungen	Saattermin	Zeitpunkt Behandlung	Anteil HRAC B
Wirkungsgrad	1,00	0,66	-0,13	0,06	-0,10	-0,62
Anteil Pflug	0,66	1,00	-0,25	0,10	0	-0,33
Anteil Winterungen	-0,13	-0,25	1,00	-0,34	-0,64	-0,36
Saattermin	0,06	0,10	-0,34	1,00	0,18	0,18
Zeitpunkt Behandlung	0,10	0,00	-0,64	0,18	1,00	0,53
Anteil HRAC B	-0,62	-0,33	-0,36	0,18	0,53	1,00

Simulationsergebnisse

Im Folgenden werden exemplarisch die Simulationsergebnisse für unterschiedliche pflanzenbauliche Konstellationen vorgestellt.

Die Simulationsergebnisse in Abbildung 1 zeigen, dass bei geringem Einsatz des Pfluges sowie häufigem Einsatz von Herbiziden der HRAC-Klasse B sehr geringe Wirkungsgrade gegen Windhalm zu erwarten sind. Je häufiger Herbizide der HRAC-Klasse B eingesetzt werden, desto schlechter lässt sich der Windhalm bekämpfen. Werden permanent Herbizide der HRAC-Klasse B eingesetzt, fallen die Wirkungsgrade unabhängig von der Pflugintensität oder einem verringerten Anteil an Winterungen auf unter 20 %. Sofern komplett pfluglos gearbeitet wird, sind auch bei Einsatzhäufigkeiten von 25 % Herbizide der HRAC-Klasse B in Fruchtfolgen mit reinem Winterungsanteil und ausschließlich Frühjahrsbehandlung nur geringe Wirkungsgrade von etwa 10 % und damit zukünftige Resistenzsituationen zu erwarten. Fällt der Winterungsanteil auf 50 %, sind die zu erwartenden Wirkungsgrade höher. Sie liegen aber mit knapp 20 % dennoch in einem nicht akzeptablen Bereich. Wird dagegen häufiger gepflügt, kann der Anteil an Herbiziden der HRAC-Klasse B höher liegen, ohne dass ein gravierender Abfall des Wirkungsgrades zu erwarten ist. Dieser Effekt wird durch die Verringerung des Winterungsanteils von 100 % auf 50 % verstärkt. Wenn innerhalb der Fruchtfolge auf einem Schlag zu 50 % Herbizide der HRAC-Klasse B eingesetzt werden, sind unter den beschriebenen Voraussetzungen bei einem Pfluganteil von 75 % und einem Winterungsanteil von 50 % noch Wirkungsgrade in Höhe von 90 % zu erwarten. Steigt der Winterungsanteil auf 100 % an, fallen die Wirkungsgrade unter Beibehaltung aller anderen Faktoren auf unter 80 %. Wenn jetzt der Pfluganteil sinken würde, z.B. nur noch zu 25 % innerhalb der Fruchtfolge, fiel der Wirkungsgrad um etwa 60 Prozentpunkte ab. In dieser Situation könnte der Wirkungsgrad durch eine Verringerung des Anteils von Herbiziden der HRAC-Klasse B auf 25 % zwar leicht aber nur noch unwesentlich, um etwa 10 Prozentpunkte gesteigert werden.

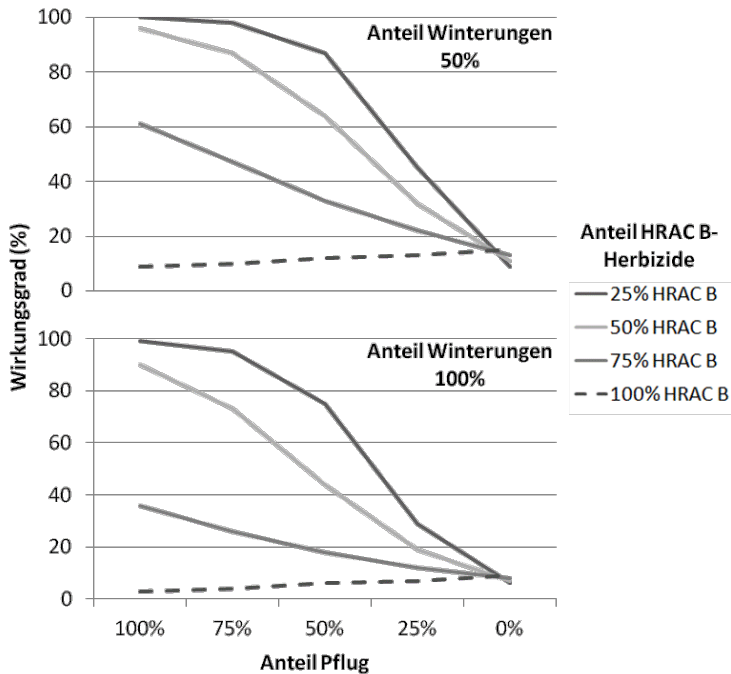


Abb. 1 Simulationsergebnisse für Schläge, auf denen ausschließlich eine Frühjahrsherbizidbehandlung in Wintergetreide stattfindet, in Abhängigkeit des Pflugeinsatzes, des Anteils an Winterungen und des Anteils an Herbiziden der HRAC-Klasse B innerhalb der Fruchtfolge.

Fig. 1 Simulation results for fields with sole spring herbicide application in winter cereals, depending on ploughing intensity, proportion of winter cereals and herbicides of HRAC group B within the crop rotation.

Diskussion

Die Simulationsergebnisse zeigen, unter welchen ackerbaulichen Voraussetzungen zukünftig Minderwirkungen von Herbiziden der HRAC-Klasse B gegenüber Windhalm zu erwarten sind. Je nach Kombination aus Pflug- und Winterungsanteil in Verbindung mit Intensitäten der Herbizide der HRAC-Klasse B können Wirkungsgrade von Herbiziden der HRAC-Klasse B verschlechtert oder auch auf hohem Niveau gehalten werden. Die Simulationen beziehen sich auf Schläge, auf denen ausschließlich eine Frühjahrsherbizidbehandlung stattfindet. Simulationen für Betriebe mit reiner Herbstbehandlung bzw. einer Kombination aus Herbst und Frühjahrsherbizidbehandlung stehen noch aus. Bei der Auswertung der Bewirtschaftungsdaten wurde deutlich, dass Betriebe, die häufig pflügen, vermehrt reine Herbstbehandlungen durchführen und seltener reine Frühjahrsherbizidbehandlungen mit Herbiziden der HRAC-Klasse B. So ist die negative Korrelation zwischen Anteil Pflug und Anteil an Herbiziden der HRAC-Klasse B zu erklären. Daher sollte der vom Modell berechnete sehr starke Einfluss des Pfluges auf den Wirkungsgrad mit Vorsicht betrachtet werden. Die Ergebnisse unterstreichen die Beratungsempfehlungen der Bundesländer, Sommerungen in die Fruchtfolge einzubauen, den Anteil von Herbiziden der HRAC-Klasse B innerhalb der Fruchtfolge zu begrenzen und soweit möglich den Einsatz des Pfluges in Betracht zu ziehen, um einer Resistenzbildung entgegen zu wirken. LUTMAN et al. (2013) zeigten, dass eine Verschiebung des Saattermins auf Ende Oktober bzw. Anfang November den Auflauf von Ungräsern, hier insbesondere Acker-Fuchsschwanz, um ca. 50 % verringern kann. Es ist zu erwarten, dass eine spätere Aussaat auch bei Windhalm auf Grund seines Keimungsverhaltens dazu beitragen könnte, den Auflauf zu verringern, um letztlich Minderwirkungen vorzubeugen. In dieser Untersuchung konnte jedoch kein Einfluss des Saattermins auf den Wirkungsgrad

festgestellt werden. In der Mehrheit der 44 zur Verfügung stehenden Datensätze wurde „nicht zu früh und nicht zu spät“ gesät, sodass Saattermin 2 (bis 1. November) überwog. Meist wurde in dieser Klasse in der Zeit zwischen dem 10. und 20. Oktober gesät. Mit der vorgenommenen Klassifizierung der Saattermine konnte kein signifikanter Effekt dieser ackerbaulichen Maßnahme sichtbar werden. Möglicherweise würde eine andere Klasseneinteilung der Saattermine einen Einfluss zeigen. Jedes Modell ist nur so gut, wie Quantität und Qualität seiner zu Grunde liegenden Ausgangsdaten. Es wäre daher wünschenswert, zukünftig von möglichst vielen Betrieben Daten zur Bewirtschaftung und den zugehörigen Resistenzstatus zu erhalten. Darüber hinaus sollten weitere ackerbauliche Einflussfaktoren, wie z.B. die Auswirkung eines falschen Saatbettes, Stoppelbearbeitungsmaßnahmen (...) bei der Modellbildung Berücksichtigung finden, um das Modell weiter zu trainieren und die Datengrundlage zu erhöhen. Letztgenannte Maßnahmen werden aktuell in Resistenzgebieten erprobt, um das Problem zu entschärfen. Durch Simulation zukünftiger Situationen in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsdaten der Vergangenheit können ackerbauliche Fehler, die Resistenzen befördern, aufgedeckt und korrigiert werden. Wie Golo Mann einst sagte: „Wer die Vergangenheit nicht kennt, kann die Zukunft nicht meistern“.

Literatur

- ABBOTT, W.S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**, 265-267.
- COUSENS, R. und P. MORTIMER, 1995: *Dynamics of Weed Populations*. Cambridge University Press., 24.11.1995, 332 Seiten.
- DICKE, D., J. WAGNER, E. CRAMER und M. KIRCHNER, 2014: Erstnachweis einer Wirkortresistenz von Tauber Trespe (*Bromus sterilis*) gegenüber ACCase-Hemmern. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 304-310.
- DICKE, D., C. HENSCHKE, J. PETERSEN und R. GERHARDS, 2016: Untersuchungen zur Resistenz von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) gegenüber Herbiziden unterschiedlicher HRAC-Klassen in Hessen. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 68-75.
- KROPFF, R. und H.H. VAN LAAR, 1993: *Modelling Crop-Weed Interactions*. Wallingford. CAB International, 274 Seiten.
- LUTMAN P.J.W., S.R. MOSS, S. COOK und S. J. WELHAM, 2013: A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **53**, 299-313.
- VON REDWITZ, C., H. PANNEWITT und B. GEROWITT, 2016: About the interplay of sensitive and resistant biotypes in weed populations-simulation exercises for *Echinochloa crus-galli* in maize crops. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 93-99.
- RUMMLAND, N., D. KERLEN, H. NORDMEYER, R. BEFFA und O. RICHTER, 2014: Modeling the development of a target site resistant *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. Population - A comparison of model output and field data. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 343-349.
- SAS INSTITUTE, 2013: *Base SAS®, 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures, Second Edition*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SAS INSTITUTE, 2014: *SAS/STAT®, 13.2 Users Guide: Statistical Procedures, Second Edition*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- VLEESHOUVERS, L.M. und H.J. BOUMEESTER, 1993: A simulation model for the dormancy cycle of weed seeds in the seed bank. 8th European Weed Research Society, Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application, Proceedings, Braunschweig, 593-600.