

Untersuchungen zur Resistenz von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) gegenüber Herbiziden unterschiedlicher HRAC-Klassen in Hessen

Investigations on Apera spica-venti (L.) P. Beauv. (loose silky-bent grass) resistance against herbicides from different HRAC-classes in Hessen

Dominik Dicke^{1*}, Christian Henschke², Jan Petersen³, Roland Gerhards⁴

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

²An den Gärten 2, 34311 Heimarshausen

³Fachhochschule Bingen, Berlinstraße 109, 55411 Bingen am Rhein

⁴Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin (360), Otto-Sander Str. 5, 70599 Stuttgart

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



DOI 10.5073/jka.2016.452.009

Zusammenfassung

Im Sommer 2014 wurden Windhalmrispen von 109 hessischen Standorten gesammelt, um die Verbreitung der Resistenz des Gemeinen Windhalms gegenüber Herbiziden der HRAC-Klassen A, B und F1/K3 im Biotest zu überprüfen. Sowohl Windhalmrispen aus angelegten Spritzfenstern als auch Rispen, die vor der Ernte in „Windhalmnestern“ innerhalb hessischer Getreidefelder auffielen, wurden in das Monitoring einbezogen. Im Dezember 2014 wurden Windhalmsamen aller Biotypen in Töpfe ausgesät und im Gewächshaus des hessischen Pflanzenschutzdienstes in Wetzlar angezogen. Die jungen Windhalmpflanzen wurden mit Herbiziden der HRAC-Klassen A, B und F1/K3 zum für das jeweilige Herbizid optimalen BBCH-Stadium behandelt. Die Wirkungsgrade wurden im Biotest ermittelt. Jede Herkunft wurde molekulargenetisch auf Mutationen untersucht, die eine Veränderung der Aminosäuresequenz der Acetolactat-Synthase (ALS) bewirken. Herkünfte, die im Biotest eine Minderwirkung gegen das Herbizid der Wirkstoffklasse A zeigten, wurden molekulargenetisch auf Mutationen untersucht, die eine Veränderung der Aminosäuresequenz der Acetyl-Coenzym-A-Carboxylase (ACCCase) bewirken. Nahezu alle Windhalmherkünfte konnten durch das Herbizid der Wirkstoffklasse F1/K3 bekämpft werden. Ebenso zeigte die Wirkstoffklasse A mit wenigen Ausnahmen eine hohe Wirkungssicherheit. Dagegen wurde mit Herbiziden der Wirkstoffklasse B nur in bis zu 12 Herkünften ein Wirkungsgrad von mehr als 90 % erzielt. In 45 Herkünften wurden Mutationen festgestellt, die eine Resistenz gegenüber der Wirkstoffklasse B bewirken. In einer Herkunft wurde eine Mutation gefunden, die zu einer Veränderung der Aminosäuresequenz der ACCCase führt. Die Ergebnisse der Untersuchung sollen als Basis für eine Folgeuntersuchung dienen, um Unterschiede in der Bewirtschaftungsweise zwischen Resistenzstandorten und sensitiven Standorten aufzudecken. Daraus sollen Beratungsempfehlungen geschaffen werden, die helfen sollen, eine Ausbreitung von Resistenzen zu verlangsamen.

Stichwörter: ALS-Hemmer, Gemeiner Windhalm, Herbizide, Resistenzmonitoring, Wirkortresistenz

Abstract

In the summer of 2014, panicles from loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*) were collected at 109 sites across the federal state Hessen, to analyze the level of loose silky-bent grass resistance against herbicides from HRAC-class A, B and F1/K3. Panicles from established spraying windows as well as panicles from *A. spica-venti* patches, which were identified at time of harvest within cereal fields, were included into the monitoring. In December 2014 the loose silky-bent grass seeds were seeded into pots and placed in the greenhouse of plant protection service Hessen in Wetzlar. The young seedlings were sprayed (repeated) with herbicides from HRAC group A, B and F1/K3 at BBCH-stages which provided optimal efficacy for each individual herbicide. Efficacy was rated. Each biotype was tested for well-known mutations, which modify the amino acid sequence of acetolactate-synthase (ALS). Biotypes, in which the herbicide from HRAC group A reached low efficacy, were tested for well-known mutations in the acetyl coenzyme a carboxylase (ACCCase) gene. The treatments with the herbicide from HRAC group F1/K3 reached very high efficacy up to 100% in nearly all biotypes. The herbicide treatment with an herbicide from HRAC group A reached high efficacy in most cases. However, all herbicides from HRAC group B showed very low efficacy. Only 12 biotypes could be controlled with an efficacy of more than 90%. 45 biotypes contained several mutations in the ALS gene, which cause ALS-resistance. Only one biotype contained a mutation, which can cause ACCCase resistance. These results will be used to study reasons for development of resistance in order to develop guidance information to prevent further increase of resistance.

Keywords: ALS inhibitor, herbicides, loose silky-bent grass, resistance monitoring, target-site resistance

Einleitung

Der Gemeine Windhalm (*Apera spica-venti*) gehört neben dem Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) zu den bedeutendsten Leitungsgräsern im Ackerbau. Durch die intensive Bestockung kann seine Konkurrenzkraft gegenüber Wintergetreide stark und ertragsmindernd sein (NIEMANN und ZWERTGER, 2006), sodass eine Bekämpfung in der Regel notwendig ist. Oftmals sind Acker-Fuchsschwanz und Windhalm auf den Feldern miteinander vergesellschaftet. Versuchsergebnisse zeigen, dass Windhalm sich in der Regel sehr gut mit Bodenherbiziden bekämpfen lässt, während diese bei der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz oft Minderwirkungen aufweisen. Daher setzen die Praktiker zur Bekämpfung von Mischverungrasungen im Herbst Herbizide der Wirkstoffklasse B zu, um den Wirkungsgrad gegen Acker-Fuchsschwanz zu erhöhen. Viele Betriebe verzichten sogar ganz auf die Herbstbehandlung mit Bodenherbiziden und bekämpfen die Gräser im Frühjahr ausschließlich mit Herbiziden der Wirkstoffklasse B, zu der auch die Sulfonylharnstoffe gehören. Durch den wiederholten Einsatz von Herbiziden mit demselben Wirkmechanismus, wie bei der ausschließlichen Frühjahrsbehandlung mit HRAC-Klasse B, wird jedoch ein Selektionsprozess auf resistente Biotypen ausgelöst (WOLBER, 2014). In Deutschland wurden erste Windhalmherbizidresistenzen bereits 1997 gegenüber PS-II Inhibitoren festgestellt (NIEMANN, 2000). Mutationen, die Zielortresistenzen gegenüber Vertretern der Wirkstoffklasse B auslösen, wurden bei MASSA et al. (2011) beschrieben. Über Nicht-Zielortresistenzen und Resistenzmuster bei Windhalm wurde bei PETERSEN et al. (2012) berichtet. Im Jahr 2009 wurden erstmals Resistenzen gegenüber Vertretern der Wirkstoffklasse B in Hessen (Raum Gießen) festgestellt. Immer wieder fallen in hessischen Getreidefeldern im Rahmen der Schaderregerüberwachung zur Ernte einzelne Nester mit durchgewachsenen Windhalmpflanzen auf. Die Ursachen können durch widrige Anwendungsbedingungen für Herbizide oder Anwendungsfehler, wie z. B. verspätete Behandlungstermine, begründet sein. Andererseits liegt der Verdacht nahe, dass es sich um Resistenzen handeln könnte. Ziel dieser Untersuchung war es, resistente Biotypen von Windhalm zu identifizieren sowie einen Überblick über die Verteilung von resistentem Windhalm gegenüber ausgewählten Wirkstoffklassen in Hessen zu erlangen. Der Überblick soll der Beratung als Basis dienen, um Antiresistenzstrategien optimieren zu können.

Material und Methoden

Biotest

Im Jahr 2014 wurden hessenweit Windhalmrispen von 109 Wintergetreidefeldern vor der Ernte gesammelt. Sowohl Rispen aus bereits im Herbst 2013 angelegten Spritzfenstern, als auch durchgewachsene Windhalmrispen aus Windhalmnestern von zufällig ausgewählten Wintergetreidebeständen, die vor der Ernte zu sehen waren, wurden berücksichtigt. Nach Aufbereitung der Samen und zweiwöchiger Kältelagerung bei 5 ° C wurden diese am 18. Dezember 2014 in Töpfen für einen Wirksamkeitsversuch angezogen. Als Substrat wurde ein Ackerboden der Region um Wetzlar verwendet, der vorher gedämpft worden ist, um die im Boden vorhandenen Unkrautsamen abzutöten. Die Temperatur im Anzuchttraum wurde ab Aussaatdatum tagsüber auf 12 °C, nachts auf 10 °C, eingestellt. Die Bewässerung erfolgte ab Aussaat einheitlich über die integrierte automatische Steuerungseinheit (Anstaubewässerung). Es wurde ein mehrfach wiederholter Wirksamkeitsversuch angelegt. Die Wirkung von 5 verschiedenen Herbiziden aus 3 Wirkstoffklassen auf die 109 Herkünfte wurde untersucht (Tab. 1) Die Herbizidapplikationen der Töpfe erfolgten mit einer Parzellenspritze im Freien. Nach der Applikation wurden die Töpfe vollständige randomisiert auf Tischen im Gewächshaus des hessischen Pflanzenschutzdienstes in Wetzlar platziert. Die Bewässerung erfolgte nach der Herbizidbehandlung „über Kopf“. Ab der Spritzung wurde die Temperatur im Gewächshaus tagsüber auf 14 °C, nachts auf 12 °C eingestellt.

Tab. 1 Herbizide und Aufwandmengen des Wirksamkeitsversuches.

Tab. 1 *Herbicides and doses used in the efficacy experiment.*

Herbizide	Wirkstoff, Konzentration (g a.i.*l ⁻¹ bzw. kg ⁻¹)	HRAC-Klasse	Aufwandmeng (l bzw.kg*ha ⁻¹) + FHS	Wiederholungen
Kontrolle	-	-	0	Je Herkunft 1x
Herold SC*	Flufenacet 400 + Diflufenican 200	F1/K3	0,6	Je Herkunft 3x
Atlantis WG **	Mesosulfuron 30 + Iodosulfuron 6	B	0,3 + 0,6	Je Herkunft 4x
Broadway**	Pyroxsulam 68 + Florasulam 23	B	0,13 + 0,6	Je Herkunft 4x
Husar Plus**	Mesosulfuron 7 + Iodosulfuron 47 + Mefenpyr 213	B	0,2	Je Herkunft 4x
Axial 50**	Pinoxaden 50	A	0,9	Je Herkunft 4x

*Behandlungstermin Herold SC: 08.01.15 (BBCH 09-11) **Behandlungstermin: 13.01.15 (BBCH 11-13)

Die Wirkungsbonitur erfolgte am 09.02.2015 und der erzielte Wirkungsgrad wurde für jeden Topf nach ABBOTT (1925) berechnet. Basis des jeweiligen Wertes in „unbehandelt“ war die Anzahl der Pflanzen im jeweiligen Topf vor der Behandlung. In Anlehnung an die Resistenztestung nach MOSS et al. (2007) wurden 6 Wirkungsbereiche gebildet. Je nachdem, welcher Wirkungsgrad durch die einzelnen Herbizide erzielt worden ist, wurden die Biotypen den entsprechenden Wirkungsbereichen zugeordnet und aufsummiert. Die Positionen der Herkünfte wurden jeweils als Punkt mit einer Open GIS-Software in separaten Karten (Abb. 2) dargestellt. Die Wirkbereiche für jedes Herbizid wurden farblich gekennzeichnet.

Molekulargenetische Analysen

Die molekulargenetischen Analysen wurden im Auftrag durch die Firma Identxx durchgeführt. Für diese Analysen wurde je 20 mg Blattmaterial von jeweils acht Windhalmplanzen aus den Kontrollen aller Biotypen verwendet. Aus dem Blattmaterial wurde die DNA mit einem kommerziell erhältlichen Kit isoliert. Mittels PCR wurden dann aus der Gesamt-DNA kurze DNA-Fragmente des *ALS*-Gens sowie des *ACCase*-Gens vervielfältigt, die die Informationen der polymorphen Positionen enthielten. Dabei handelt es sich um Positionen, die im *ALS*-Gen für Pro-197 (wt: CCC) und Trp-574 (wt: TGG) codieren sowie um Positionen, die für Ile-1781 (wt:ATA), Trp-2027 (wt:TGG), Ile-2041 (wt: ATT), Asp-2078 (wt: GAT) und Gly-2096 (wt: GGT) im *ACCase*-Gen codieren. Als Grundlage für das Design von PCR und Pyrosequencing diente das *ALS*-Gen sowie das *ACCase*-Gen von *Arabidopsis thaliana*. Für die Amplifikation mittels PCR wurden verschiedene Sets von Primer-Paaren eingesetzt. Die PCR wurde in einem Reaktionsansatz von 25 µl mit einem kommerziellen Master-Mix Kit durchgeführt. Die Konzentration der Primer betrug 10 µM (jeweils) und als PCR-Template wurden 4 µl der DNA-Extrakte eingesetzt. Die Reaktion wurde in einem Thermocycler mit dem folgendem Temperatur-Profil durchgeführt: Denaturierung bei 94 °C für 5 Minuten, danach 40 Zyklen (Denaturierung: 94 °C, 30 s, Annealing, 30 s und Elongation bei 72 °C für 20 s). Anschließend wurde die Sequenz PCR-Produkte mit Hilfe eines Pyrosequencers (Pyromark Q24, Qiagen) nach Herstellerangaben analysiert.

Ergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt die Anzahl der Biotypen in den definierten Wirkungsbereichen (Abb. 1).

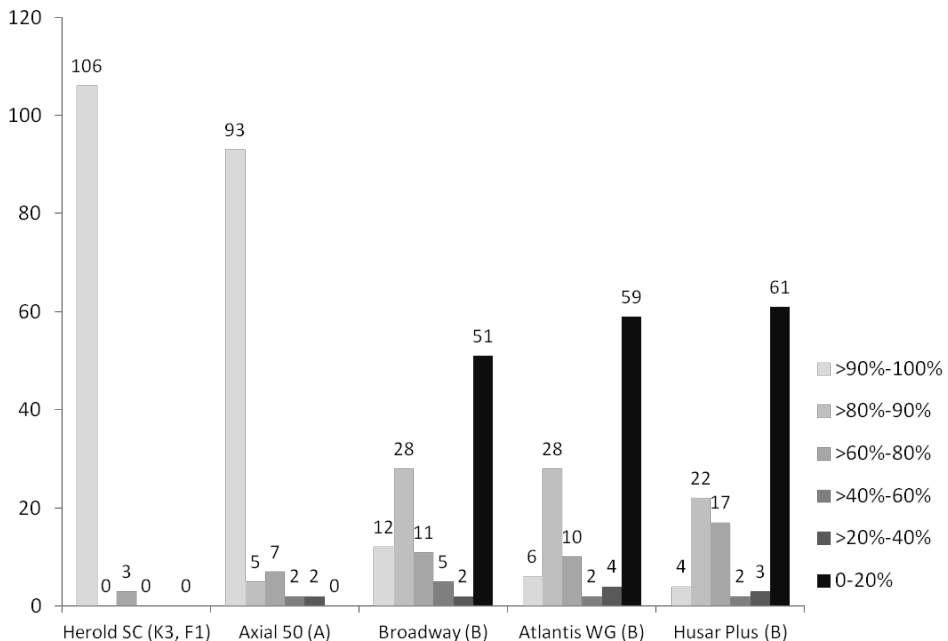


Abb. 1 Anzahl an Biotypen in den Wirkungsbereichen der getesteten Herbizide einschließlich HRAC-Klasse.

Fig. 1 Biotypes separated into herbicide efficacy classes according to the applied herbicides, with HRAC group.

Das Herbizid Herold SC (WK K3/F1) erzielte bei nahezu allen geprüften Biotypen hohe Wirkungsgrade. Nur drei der insgesamt 109 geprüften Biotypen wurden in den Wirkungsbereich >60 % bis 80 % eingestuft. Auch Axial 50 lag bei den meisten Biotypen im höchsten Wirkungsbereich. Gegen 16 Biotypen konnte jedoch hier kein ausreichender Wirkungsgrad erzielt werden. Anlass zur Sorge geben die erzielten Wirkungsgrade der Präparate aus der HRAC-Klasse B: Bei mehr als der Hälfte der getesteten Biotypen wurde nur ein Wirkungsgrad zwischen 0 und 20 % erzielt. Weniger als 10 - 15 % der Biotypen konnten mit einem Wirkungsgrad zwischen >90 - 100 % bekämpft werden. Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der Standorte mit Wirksamkeitseinstufung für Atlantis (WK B), Broadway (WK B) sowie Herold (WK K3, F1) und Axial 50 (WK A) (Abb. 2). Aus den Karten ist ersichtlich, dass die niedrigen Wirkungsgrade der HRAC-Klasse B über ganz Hessen verteilt sind. Eine Ausnahme bilden die Bereiche zwischen Marburg und Bad Wildungen. Im Gegensatz dazu wurden insbesondere mit dem Bodenherbizid Herold landesweit zufriedenstellende Wirkungsgrade erzielt. Axial 50 hat auf einigen wenigen Standorten bei Wetzlar, Marburg, Bad Arolsen und südöstlich von Frankfurt im Biotest unzureichende Wirkungsgrade gezeigt.

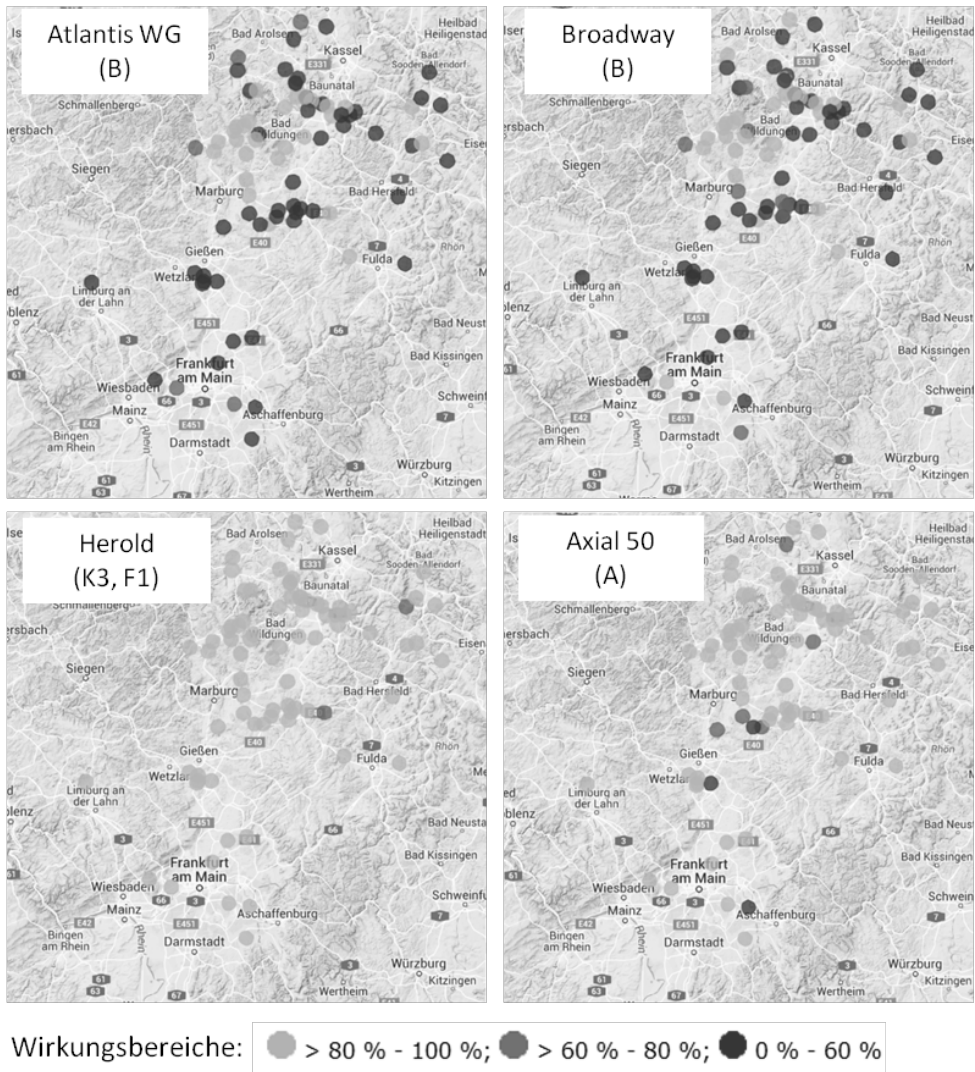


Abb. 2 Karte mit hessischen Standorten (ein Punkt = ein Biotyp), mit Einteilung in definierte (farblich markierte) Wirkbereiche, jeweils für die Herbizide Atlantis WG, Broadway, Herold SC und Axial 50.

Fig. 2 Locations, where biotypes of *Apera spica-venti* were collected (one point=one biotype); colors indicate the efficacy classes of the herbicides Atlantis WG, Broadway, Herold SC and Axial 50.

Tabelle 2 zeigt die durch Molekularanalyse nachgewiesenen Mutationen auf. 45 Biotypen waren an den Position Pro-197 und/oder Trp-574 des ALS-Gens homo- oder heterozygot für eine Mutation. Bei neun Biotypen konnten an beiden Positionen Mutationen nachgewiesen werden. An der Position Pro-197 traten bei fünf Biotypen unterschiedliche Mutationen auf. An der Position Trp-574 war dieses bei einem Biotyp der Fall. Zur Veranschaulichung wurden die gemittelten Wirkungsgrade der Herbizide Atlantis WG und Broadway als Vertreter der HRAC-Klasse B hinter der jeweiligen Mutation bzw. Mutationskombination mit aufgeführt. Mit Ausnahme von sechs Biotypen, die in sehr geringer Frequenz (siehe Sternchen) Mutationen aufwiesen, lagen die Wirkungsgrade bei Atlantis WG in den meisten Fällen unter 15 %. Die Wirkungsgrade von

Broadway lagen im Vergleich zu Atlantis WG insbesondere bei Biotypen mit den Mutationen A/C-CC (Pro/Thr) sowie ACC (Thr) höher. Das Niveau der Wirkungsgrade (in den meisten Fällen unter 30 %) zeigt jedoch auch hier eine insgesamt ungenügende Wirkung an. Kombinationen aus mehreren Mutationen führten zu stärkeren Wirkungsverlusten.

Tab. 2 Anzahl an Biotypen mit unterschiedlichen Mutationen an den Positionen Pro-197 und Trp-574 des ALS-Gens mit gemittelten Wirkungsgraden der Herbizide Atlantis WG und Broadway.

Tab. 2 Number of biotypes with different mutations at the positions Pro-197 and Trp-574 of the ALS gene in comparison to the efficacy of the herbicides Atlantis WG and Broadway.

Mutation an Position Pro-197 (wt: CCC)	an	Mutation an Position Trp-574 (wt: TGG)	Anzahl Biotypen	WG (%) Biotest Atlantis WG*	WG (%) Biotest Broadway*
A/C-CC (Pro/Thr)	-		7	6,4	29,4
ACC (Thr)			5	9,5	18,3
A/T-CC (Thr/Ser)	-		1	1,0	0,5
A/C-CC (Pro/Thr)	+				
T/C-CC (Pro/Ser)			1	26**	68,8**
ACC(Thr)+A/C-CC (Pro/Thr)	-		1	0,5	1
-		T-T/G-G (Trp/Leu)	21	12,2	14
A/C-CC (Pro/Thr)		T-T/G-G (Trp/Leu)	2	0,25	5,75
ACC (Thr)		T-T/G-G (Trp/Leu)	2	40,8**	46,3**
A/C-CC (Pro/Thr)	+	T-T/G-G (Trp/Leu)			
T/C-CC (Pro/Ser)			2	41,8**	46**
T/C-CC (Pro/Ser)		TTG (Leu)+T-T/G-G (Trp/Leu)	1	97**	97**
ACC(Thr)+A/C-CC (Pro/Thr)		T-T/G-G (Trp/Leu)	2	0,5	0,6

* Mittelwert der Wirkungsgrade (WG) aus allen zum jeweiligen Biotyp zugehörigen Wiederholungen

** Niedrige Mutationsfrequenz in jeweils 8 geprüften Windhalmpflanzen je Biotyp (oft nur in 2-4 von 8 Pflanzen eine Mutation)

Bei der Prüfung der Positionen des ACCase-Gens trat nur bei einem Biotyp an der Position Asp-2078 die Mutation G-G/A-T (Asp/Gly) in sehr niedriger Frequenz, d.h. in einer von acht geprüften Windhalmpflanzen des Biotyps auf. Der Wirkungsgrad des Herbizids Axial 50, welches auf die ACCase wirkt, lag hier bei 80 %.

Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der insgesamt 64 Biotypen ohne Mutationen auf die definierten Wirkungsbereiche am Beispiel Atlantis WG und Broadway (Abb. 3). Nur die Hälfte der Biotypen ohne nachgewiesene Mutationen konnten mit einem Wirkungsgrad zwischen 80 und 100 % durch die ausgewählten Vertreter der Wirkstoffklasse B (Atlantis WG und Broadway) bekämpft werden. Bei etwa einem Drittel der mit diesen Herbiziden geprüften Biotypen lag der Wirkungsgrad nur zwischen 0 und 20 %.

In der Tendenz erreicht das Herbizid Broadway zwar auf einem niedrigen Niveau leicht höhere Wirkungsgrade. Das Gesamtbild ist allerdings nahezu identisch mit dem von Atlantis WG.

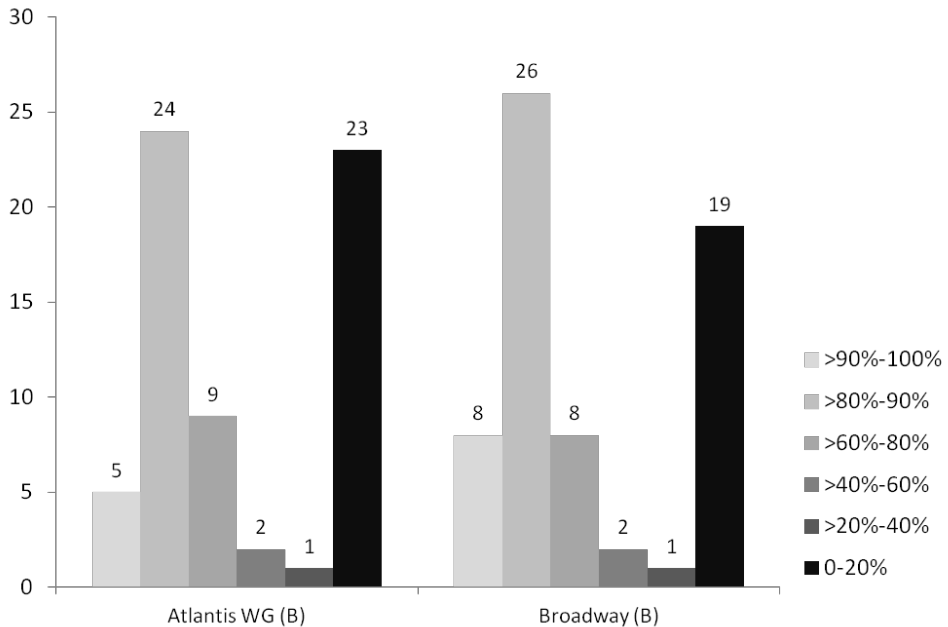


Abb. 3 Anzahl an Biotypen, in denen keine Mutationen nachgewiesen wurden, in unterschiedlichen Wirkungsbereichen für Atlantis WG und Broadway (beide HRAC-Gruppe B).

Fig. 3 *Biotypes without detected mutations separated into herbicide efficacy classes of Atlantis WG and Broadway (both HRAC group B).*

Diskussion

Durch diese Untersuchung konnte ein Einblick in die Resistenzsituation bei Windhalm im Land Hessen realisiert sowie landesweit vorhandene Wirkungsschwächen bei Herbiziden der Wirkstoffklasse B aufgedeckt werden. Dabei ist anzumerken, dass sich die Wirkungsschwächen auf einzelne Windhalmnester innerhalb von Flächen beziehen, in denen die Proben entnommen wurden. Ganzflächig mit Windhalm überwachsene Flächen traten nicht auf. Nahezu alle der 45 Biotypen, die Mutationen im ALS-Gen aufwiesen, wurden jedoch auch im Biotest mit hohen Wirkungsverlusten bis hin zur Nullwirkung auffällig. Das zeigt, dass Wirkortresistenzen verbreitet in Hessen zu finden sind. Mutationen an der Position Pro 197 wirkten sich stärker auf die Wirksamkeit von Atlantis WG aus als auf die Wirksamkeit von Broadway. Die Mutation T-T/GG an der Position Trp-574, die eine Substitution von Trp-574 durch Leu zur Folge hat, beeinflusst die Wirksamkeit von Atlantis WG und Broadway etwa gleichermaßen. Broadway enthält den Wirkstoff Pyroxsulam, der innerhalb der WK B zur Untergruppe der Triazolpyrimidine gehört, während Atlantis WG mit den Wirkstoffen Metsulfuron und Iodosulfuron ebenso wie auch das mit geprüfte Husar Plus (Mefenpyr, Iodo- und Mesosulfuron) ein Sulfonylharnstoff ist. Die Ergebnisse geben einen Hinweis darauf, dass Triazolpyrimidine ggf. nicht so stark auf die Pro197 zu Thr Substitution reagieren, wie Sulfonylharnstoffe. Der durch diese Mutationen bedingte Wirkungsverlust ist allerdings zu hoch, um in dieser Hinsicht von einem Vorteil der Triazolpyrimidine gegenüber Sulfonylharnstoffen sprechen zu können. Etwa ein Drittel der mutationsfreien Biotypen konnte mit Herbiziden der Wirkstoffklasse B nicht bekämpft werden. Dieses könnte entweder durch eine stark ausgeprägte metabolische Resistenz begründet sein, oder diese Biotypen beinhalten Mutationen an weiteren Positionen im ALS-Gen, die jedoch in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. Für die Praxis lässt sich aus der Untersuchung ableiten, dass bei der Windhalmbekämpfung im Herbst in Getreide der Einsatz von Bodenherbiziden auf Flufenacet-

Basis wie z.B. Herold SC im Herbst ein Basisbaustein werden sollte. Ist Windhalm mit Ackerfuchsschwanz vergesellschaftet, sollte ebenfalls stets ein bodenwirksamer Partner zugemischt werden, da eine allein auf HRAC-Klasse B ausgerichtete Bekämpfung die Gefahr birgt, resistente Biotypen heraus zu selektieren.

Diese Untersuchung zeigt die dringende Notwendigkeit auf, ackerbauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Ungrasbesatzes gezielt einzusetzen, wie bei DICKE et al. (2014) zusammengefasst. In einer Folgeuntersuchung soll nun, über eine Befragung der an dieser Untersuchung beteiligten Landwirte, evaluiert werden, welche Unterschiede in der Bewirtschaftung auf Resistenzstandorten im Vergleich zu sensitiven Standorten vorliegen. Die gewonnenen Informationen sollen helfen, derzeit etablierte Resistenzstrategien zu optimieren, um eine Ausbreitung von Resistenzen, die derzeit noch in einzelnen Ungrasnestern innerhalb von Flächen auftreten, möglichst lange aufzuhalten.

Literatur

- ABBOTT, W.S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**, 265-267.
- 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.
- MASSA, D., B. KRENZ und R. GERHARDS, 2011: Target-site resistance to ALS-inhibiting herbicides in *Apera spica-venti* populations is conferred by documented and previously unknown mutations. *Weed Research* **51**, 294-303.
- MOSS S.R., S.A.M. PERRYMAN und L. V. TATNELL, 2007: Managing herbicide-resistant black grass (*Alopecurus myosuroides*): theory and practice. *Weed Technology* **21**, 300-309.
- NIEMANN, P., 2000: Resistance of silky bentgrass (*Apera spica-venti*) against Isoproturon. *Mitt. Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* **376**, 147-148.
- NIEMANN, P. und P. ZWERGER, 2006: Über Herbizidresistenz bei *Apera spica venti* (L.). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XX*, 81-88.
- PETERSEN, J., G. NARUHN und H. RAFFEL, 2012: Nicht- Zielresistenzen bei *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti*- Resistenzmuster und Resistenzfaktoren. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 43-50.
- WOLBER, D.M., 2014: Resistenzentwicklungen von *Apera spica-venti* (L.) O. Beauv. (Gemeiner Windhalm) in Niedersachsen 2013-zunehmend auch gegen Pinoxaden. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 280-286.