

## Evolution der Herbizidresistenz in *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* im deutschen Getreideanbau der letzten 15 Jahre

*Evolution of herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* in German cereal production during the last 15 years*

Jan Petersen<sup>1\*</sup>, Hans Raffel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technische Hochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen a.R.

<sup>2</sup>Syngenta Deutschland, Am Technologiepark 1, 63477 Maintal

\*Korrespondierender Autor, [petersen@th-bingen.de](mailto:petersen@th-bingen.de)

DOI 10.5073/jka.2020.464.049



### Zusammenfassung

Das Vorkommen von Herbizidresistenzen bei Ungräsern nimmt in den letzten 30 Jahren in Deutschland kontinuierlich zu. Dies gilt sowohl für die Anzahl der betroffenen Arten, die regionale Verbreitung, den Resistenzgrad, die Anzahl der Aktivsubstanzen, der Wirkstoffklassen und damit die betroffenen Herbizide. Der Beitrag zeigt anhand von Gewächshausbiotestergebnissen von 1197 Acker-Fuchsschwanz- und 737 Windhalmproben die Entwicklungen sowie den aktuellen Status Quo auf. Deutlich wird die Verschärfung der Entwicklung im Bereich der Nachauflaufherbizide mit Blattaktivität insbesondere bei *A. myosuroides* und die Zunahme der ALS-Herbizidresistenzen bei *A. spica-venti*. Die Frequenz von wirkstoffklassenübergreifenden Kreuzresistenzen nimmt zu. In der Folge können viele Acker-Fuchsschwanz- und einige Windhalmpopulationen im Nachauflauf nicht mehr mit selektiven Herbiziden kontrolliert werden. Die Situation wurde im Untersuchungszeitraum 2006 bis 2018 stetig deutlicher und zeigt, dass das Ausmaß an Änderungen in den Ackerbausystemen aktuell noch nicht ausreicht den Trend zu stoppen. Dadurch wird die Produktivität des gesamten Ackerbaues gefährdet, der Herbizideinsatz tendenziell erhöht und damit auch der Selektionsdruck eher verstärkt statt, wie notwendig, abgesenkt.

**Stichwörter:** ACCase-Inhibitoren, ALS-Inhibitoren, Kreuzresistenz, Photosystem-II-Hemmer

### Abstract

The occurrence of herbicide resistance in grass weeds has been steadily increased in Germany over the past 30 years. This applies both to the number of species affected, the regional distribution, the degree of resistance and the number of herbicides and classes of active substances involved. Based on greenhouse bioassay results of 1137 *Alopecurus myosuroides* populations and 737 *Apera spica-venti* populations, the article shows the developments as well as the current status quo. The aggravation of the development in the field of post-emergence herbicides, in particular in *A. myosuroides*, and the increase in ALS herbicide resistance in *A. spica-venti* are clear. The frequency of cross-class resistance increases. As a result, many *A. myosuroides* and some *A. spica-venti* populations can no longer be controlled with selective herbicides in the post emergence treatments. The situation became more and more evident in the period from 2006 to 2018 and shows that the extent of changes in arable farming systems is currently not enough to stop the trend. As a result, the productivity of agriculture is endangered and the use of herbicides and thus also the selection pressure is increased rather than reduced as necessary.

**Keywords:** ACCase-inhibitors, ALS-inhibitors, cross resistance, photosystem-II-inhibitors

### Einleitung

Herbizidresistenzen breiten sich insbesondere beim Acker-Fuchsschwanz und beim Gemeinen Windhalm seit über 30 Jahren in Deutschland aus. Dies gilt sowohl für die Anzahl der Resistenzfunde, die Resistenzgrade, die betroffenen Wirkstoffe und deren Wirkmechanismen als auch für die Regionen. War zunächst der Acker-Fuchsschwanz zunächst in den Küsten- und Flussmarschen Nordwestdeutschlands betroffen (NIEMANN und PESTEMER, 1984), so hat sich die Problematik mittlerweile auf fast alle Regionen ausgedehnt, in denen der Acker-Fuchsschwanz verbreitet ist. Bei dieser Unkrautart kommt hinzu, dass sie sich stetig ausbreitet. Dies trifft u.a. für den nordostdeutschen Raum zu. In der Folge gibt es immer mehr Regionen, in denen neben Acker-Fuchsschwanz auch der Gemeine Windhalm verbreitet ist. Auch für diese Art wird eine Zunahme von Herbizidresistenzfällen beobachtet (NIEMANN, 2000). Treten beide Arten auf einem Feld auf und sind Resistenzen gegen unterschiedliche Wirkstoffklassen präsent, dann kann es schwer werden

eine erfolgreiche Herbizidstrategie umzusetzen. Immer deutlicher wird, dass mit Herbiziden allein die Resistenzproblematik nicht zu stoppen sein wird. Je mehr in den Bekämpfungsstrategien auf die Herbizide abgestellt wird, desto schneller entwickeln und verbreiten sich die Probleme. Um schlagspezifisch Landwirten und Beratern eine Auskunft darüber geben zu können, ob und wenn ja welche Herbizidresistenzen in den Ungräsern vorkommen, werden seit 2006 bzw. seit 2009 Resistenzmonitorings bei Acker-Fuchsschwanz und Gemeinem Windhalm in Kooperation der Firma Syngenta und der Technischen Hochschule Bingen durchgeführt. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Entwicklungen für beide Arten an ausgewählten herbiziden Wirkstoffen mit dem Ziel den Status quo und die Dynamik dazustellen. Dies kann eine wichtige Grundlage sein, aktuelle Bekämpfungsstrategien zu überdenken und anzupassen.

## Material und Methoden

Die jährlichen Monitoringversuche basieren auf Samenproben von Acker-Fuchsschwanz und Gemeinen Windhalm von Verdachtsflächen (Acker-Fuchsschwanz) und von zufälligen Probenahmen von Flächen mit nicht bekämpftem Windhalmbesatz. Die Samenproben wurden im Herbst des jeweiligen Sammeljahres in einem Gewächshausbiotest eingebracht. Hierfür wurde ein gesiebter und gedämpfter (4 h bei 70 °C) Ackerboden (sandiger Lehm mit ~ 2 % organische Substanz, 35,7 mg/100 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 18,6 mg/100 g K<sub>2</sub>O und einem pH-Wert von 6,8) vom Standort Bingen genutzt. Der Boden wurde in Torftöpfe (8 x 8 cm, Jiffy) bis ca. 1 cm unter den Topfrand gefüllt, gedüngt (~100 kg/ha N) und rückverfestigt. Auf diesen so vorbereiteten Töpfen wurden ca. 30-50 Acker-Fuchsschwanz- und 50 bis 100 Windhalmsamen gesät. Eine Abdeckung mit Boden erfolgt beim Acker-Fuchsschwanz mit ca. 6 und bei Gemeinem Windhalm mit ca. 2 mm Boden.

**Tab. 1** Herbizide, Wirkstoffe, Konzentrationen und Aufwandmengen der in den Monitoringversuchen bei den Arten Acker-Fuchsschwanz und Gemeinen Windhalm eingesetzten Herbizide.

**Tab. 1** *Herbicides, active ingredients, concentrations and application rates of the products used in the monitoring experiments on the species A. myosuroides and A. spica-venti.*

Art	Herbizid (Wirkstoff)	Konzentration	Aufwandmenge	Wirkungsweise (HRAC)
<b>Acker-Fuchsschwanz</b>	Axial50 (Pinoxaden)	50 g/l	1,2 l/ha	A
	Atlantis WG (Mesosulfuron / Iodosulfuron)	30/6 g/kg	500 g/ha + 1,0 l/ha Mero	B
	Focus Ultra (Cycloxydim)	100 g/l	2,5 l/ha	A
	Broadway (Pyroxsulam / Florasulam)	68,3/22,8 g/kg	240 g/ha + 1,0 l/ha FHS	B
<b>Gemeiner Windhalm</b>	Axial50 (Pinoxaden)	50 g/l	0,9 l/ha	A
	Husar OD (Iodosulfuron)	100 g/l	0,1 l/ha + 1,0 l/ha Mero	B
	Husar plus* (Iodosulfuron / Mesosulfuron)	50/7,8 g/l	0,2 l/ha + 1,0 l/ha Mero	B
	Broadway (Pyroxsulam / Florasulam)	68,3/22,8 g/kg	130 g/ha + 1,0 l/ha FHS	B
	Arelon Top (Isoproturon)	500 g/l	1,5 l/ha	C2
	Lentipur 700 SC** (Chlortoluron)	700 g/l	1,5 l/ha	C2

\*Husar plus ersetzte Husar OD ab 2014; \*\*Lentipur ersetzte Arelon Top ab 2017

Je Herkunft und Herbizidvariante wurden in der Regel 3 Wiederholungen angelegt. Bei knapper Saatgutverfügbarkeit wurde die Wiederholungsanzahl auf 2 in seltenen Fällen auf eine reduziert. Auf den Gewächshäustischen erfolgte eine Bewässerung durch temporäres Anstauen nach Bedarf der Pflanzen. Die Pflanzen wurden täglich mit Pflanzenleuchten bei einer Intensität von 300 µE/m<sup>2</sup> \*s<sup>2</sup> beleuchtet (6:00 bis 9:00 und 15:00 bis 18:00 Uhr). Die Temperaturen wurden tagsüber im Bereich

von 18 bis 20 °C und die der Nacht zwischen 10 bis 14 °C eingestellt. Die Herbizidapplikation erfolgte in der Regel 14 Tage nach der Saat im BBCH-Stadium 11 – 12 (Tab. 1). Die Applikation wurde mit einem Spritzautomat der Firma Schachtner bei 250 l/ha Wasseraufwand, 2,5 km/h und 250 hPa Druck durchgeführt. 21 Tage nach der Herbizidapplikation wurde ein Wirkungsgrad [%; 0 = keine Wirkung; 100 = tote Pflanze] im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle geschätzt. Ebenfalls wurde ein Deckungsgrad für die Töpfe der unbehandelten Kontrolle geschätzt, um den Auflauf und die Pflanzendichte jedes Biotyps zu dokumentieren.

## **Ergebnisse**

Die Ergebnisse für den Acker-Fuchsschwanz zeigen insbesondere bei dem Wirkstoff Pinoxaden eine deutliche Abnahme in der mittleren Wirkung von 70 auf 50 % im Jahr 2009 (Abb. 1). Deutlich wird, dass bereits bei der Einführung des Wirkstoffes in 2006 und damit zu Beginn des Monitorings Resistenzfälle für Pinoxaden beobachtet werden konnten. Die Anzahl pinoxadensensitiver Herkünfte ist in den letzten Jahren auf ca. 25 % gesunken. Trotz des gleichen Wirkmechanismus zeigt sich das Cycloxydim bei den gleichen Herkünften nicht so stark von Resistenz betroffen wie das Pinoxaden. Allerdings ist auch hier zu verzeichnen, dass die Problematik stetig ansteigt. So ist die mittlere Cycloxydim-Wirkung von 95 % in 2006 auf unter 80 % in 2018 gesunken.

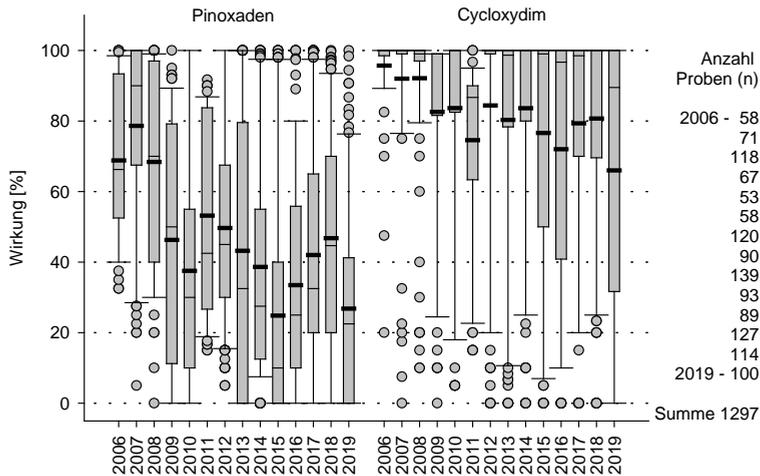
Bei der Betrachtung der Wirksamkeit der ALS-Inhibitoren auf die Acker-Fuchsschwanzherkünfte (Abb. 2), zeigt sich bei beiden Wirkstoffen ein sehr ähnliches Bild. Allerdings wurde das Pyroxulam erst ab 2012 in das Monitoring integriert. Auffällig ist, dass bis 2014 der mittlere Wirkungsgrad von Mesosulfuron / Iodosulfuron bei über 80 % lag und danach auf unter 70 % bei stark ansteigender Streuung der Werte abfiel. Damit scheint sich die Entwicklung, die zuvor bei den ACCase-Hemmern beobachtet wurde, zeitversetzt zu wiederholen.

Dementsprechend sind konsequenterweise immer häufiger multipel resistente Acker-Fuchsschwanzherkünfte anzutreffen, die gleich gegen mehrere Wirkstoffe auch aus unterschiedlichen Wirkungsweisen Resistenzen aufweisen (Abb. 3). So zeigen in den letzten 3 Jahren 30 bis 40 % aller geprüften Herkünfte Resistenzen gegen die zwei wichtigen Nachauflaufherbizidklassen HRAC A und B auf.

Bei Betrachtung der Herbizidwirkungen beim Gemeinen Windhalm (Abb. 4 und 5) sind die Wirkungsgrade in der Regel deutlich besser als bei Acker-Fuchsschwanz. Dennoch sind auch hier die Entwicklungen zu häufigeren Resistenzfunden erkennbar. Gegensätzlich zum Acker-Fuchsschwanz ist beim Gemeinen Windhalm eine deutliche Resistenz bei den ALS-Inhibitoren zu erkennen. Insbesondere Iodosulfuron weist aktuell bei mehr als 50 % aller geprüften Windhalmherkünfte eine Resistenz auf. Weniger häufig, aber mit ähnlicher zeitlicher Dynamik, zeigen sich Resistenzen gegenüber Pyroxulam.

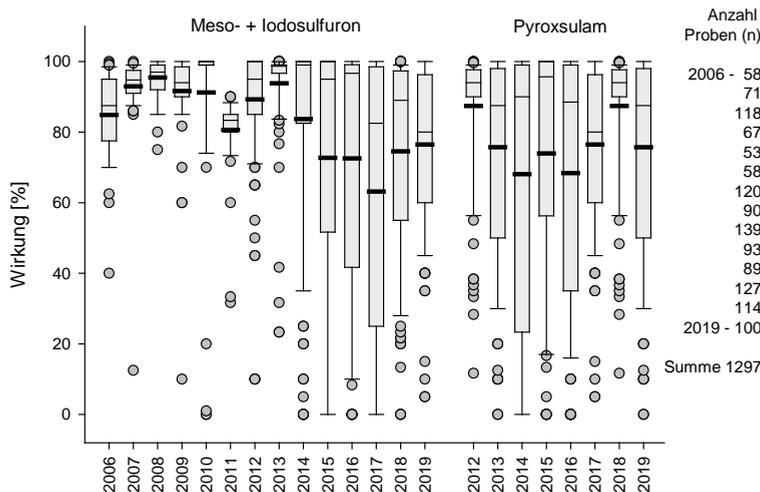
Die mittlere Pinoxadenwirkung verminderte sich von 100 % in 2009 auf etwa 85 % in 2018. Eine nahezu identische Entwicklung konnte bei Isoproturon bzw. Chlortoluron festgestellt werden, wengleich 2009 bereits häufiger eine Isoproturonresistenz zu diagnostizieren war, während eine Pinoxadenresistenz kaum auftrat.

Auch beim Gemeinen Windhalm treten multiple Kreuzresistenzen sowohl innerhalb eines Wirkmechanismus als auch mechnismenübergreifend auf. Wurden bis 2017 maximal 15 bis 25 % dieser mehrfachresistenten Herkünfte identifiziert, musste 2018 ein Sprung auf 35 % festgestellt werden (Abb. 6). Bei den Mehrfachresistenzen sind fast immer die ALS-Hemmer in unterschiedlichen Kombinationen mit anderen Wirkstoffklassen vertreten. Noch selten, aber durchaus vorkommend, sind Resistenzen, die eine Unwirksamkeit gegen alle derzeit zugelassen Wirkmechanismen im Nachauflauf bei Windhalm bewirken.



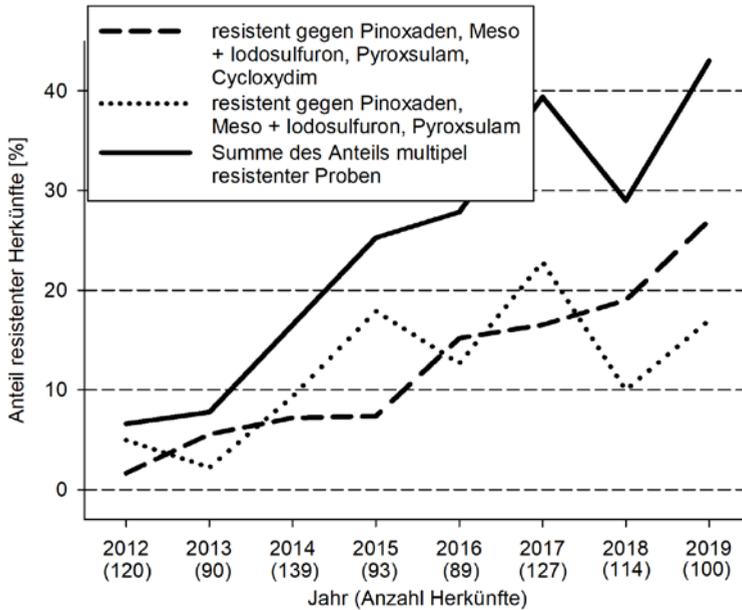
**Abb. 1** Entwicklung der Wirkung von Pinoxaden (links) und Cycloxydim (rechts) bei Acker-Fuchsschwanz (Resistenzverdachtsproben) aus Deutschland der Jahre 2006 bis 2019 (n = 1297); der dicke Strich in der Box zeigt den Mittelwert, der dünne Strich den Median, die Box beschreibt die 50 % der Werte um den Median, die Fehlerbalken 90 % der Werte um den Median, die Punkte Werte außerhalb dieses Bereiches.

**Fig. 1** Development of the efficacy of pinoxaden (left) and cycloxydim (right) in *A. myosuroides* (suspected of resistance) from Germany from 2006 to 2019 (n = 1297); thick line in the box shows the mean, the thin line the median, the box describes the 50% of the values around the median, the error bars 90% of the values around the median, the points the values outside this range.



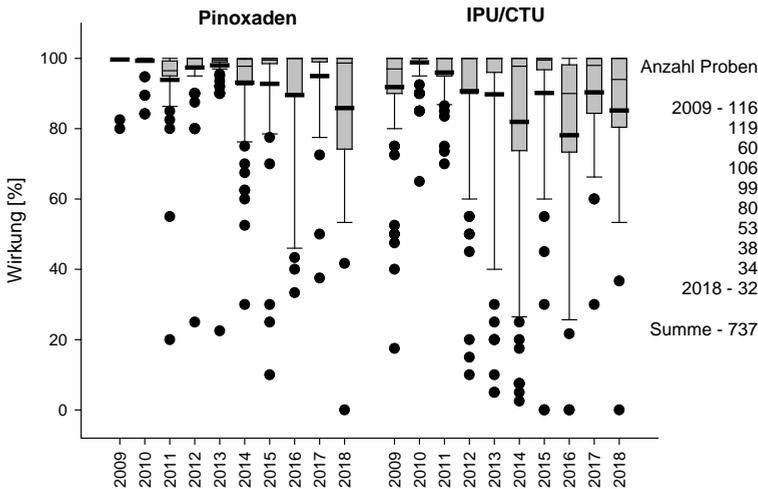
**Abb. 2** Entwicklung der Wirkung von Meso- + Iodosulfuron (links) und Pyroxulam (rechts) bei Acker-Fuchsschwanz (Resistenzverdachtsproben) aus Deutschland der Jahre 2006 bis 2019 (n = 1297); dicker Strich in der Box zeigt den Mittelwert der dünne Strich den Median, die Box beschreibt die 50 % der Werte um den Median, die Fehlerbalken 90 % der Werte um den Median, die Punkte Werte außerhalb dieses Bereiches.

**Fig. 2** Development of the effect of iodo- and mesosulfuron (left) and pyroxulam (right) in *A. myosuroides* (suspected of resistance) from Germany from 2006 to 2019 (n = 1297); thick line in the box shows the mean of the thin line the median, the box describes the 50% of the values around the median, the error bars 90% of the values around the median, the points values outside this range.



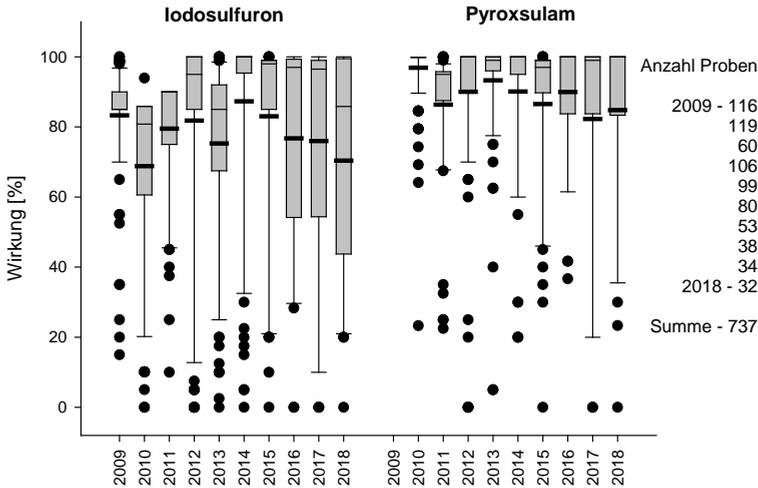
**Abb. 3** Entwicklung des Anteils multipel resistenter Acker-Fuchsschwanzherkünfte in Deutschland im Zeitraum 2012 bis 2019.

**Fig. 3** Development of the proportion of multiple resistant *A. myosuroides* from Germany in the period from 2012 to 2019.



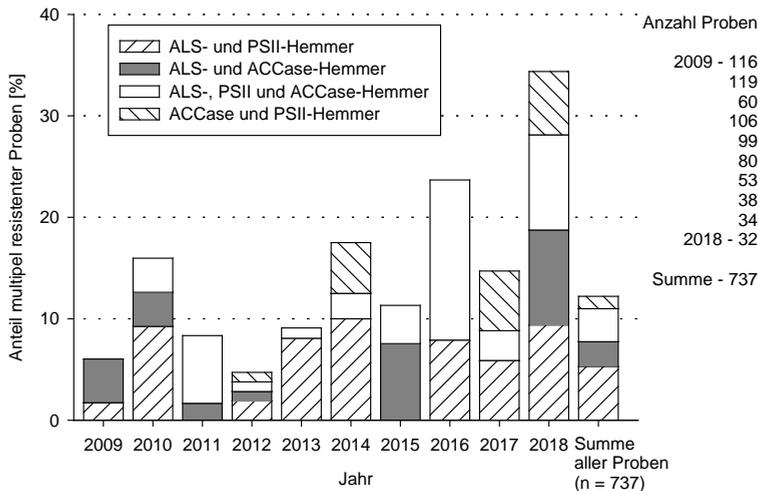
**Abb. 4** Entwicklung der Wirkung von Pinoxaden (links) und IPU/CTU (rechts) bei Windhalmpromben aus Deutschland der Jahre 2009 bis 2018 ( $n = 737$ ); dicker Strich in der Box zeigt den Mittelwert der dünne Strich den Median, die Box beschreibt die 50 % der Werte um den Median, die Fehlerbalken 90 % der Werte um den Median, die Punkte Werte außerhalb dieses Bereiches.

**Fig. 4** Development of the effect of pinoxaden (left) and IPU / CTU (right) in *A. spica-venti* samples from Germany from 2009 to 2018 ( $n = 737$ ); thick line in the box shows the mean of the thin line the median, the box describes the 50% of the values around the median, the error bars 90% of the values around the median, the points values outside this range.



**Abb. 5** Entwicklung der Wirkung von Iodosulfuron (links) und Pyroxulam (rechts) bei Windhalmpflanzenproben aus Deutschland der Jahre 2009 bis 2018 (n = 737); dicker Strich in der Box zeigt den Mittelwert der dünne Strich den Median, die Box beschreibt die 50 % der Werte um den Median, die Fehlerbalken 90 % der Werte um den Median, die Punkte Werte außerhalb dieses Bereiches.

**Fig. 5** Development of the effect of iodosulfuron (left) and pyroxulam (right) in *A. spica-venti* samples from Germany from 2009 to 2018 (n = 737); thick line in the box shows the mean of the thin line the median, the box describes the 50% of the values around the median, the error bars 90% of the values around the median, the points values outside this range.



**Abb. 6** Dynamik der relativen Häufigkeit von multipel herbizidresistenten Windhalmpflanzenproben aus Deutschland nach betroffenen Wirkortkombinationen der Jahre 2009 bis 2018 (n = 737).

**Fig. 6** Dynamic of relative occurrence of multiple herbicide resistant *A. spica-venti* population from Germany depending on combinations of modes of action (2009 – 2018, n = 737).

## Diskussion

Die Monitoringergebnisse für den Acker-Fuchsschwanz deuten darauf hin, dass die Resistenzentwicklung bei den ACCase-Hemmern recht weit fortgeschritten ist. Verdachtsfälle bei Pinoxadenresistenz werden zumeist bestätigt. Als Resistenzursache wurde in der Vergangenheit

zumeist ein metabolischer Abbau vermutet, da DIM-Herbizide noch voll wirksam waren. Bereits ROSENHAUER et al. (2013) stellten aber fest, dass vermehrt Zielortresistenzen in deutschen Acker-Fuchsschwanzproben bei einer stetig ansteigenden Frequenz zu finden sind. Die Zunahmerate bei Cycloxydim-Resistenz in den letzten Jahren bestätigt diesen Trend. In der Folge treten Biotypen auf, die auch in dikotylen Kulturen mit nicht-getreideselektiven ACCase-Hemmern kaum mehr bekämpft werden können. Für die ALS-Hemmer findet sich bei Acker-Fuchsschwanz die gleiche Entwicklungstendenz, erst metabolisch bedingte Resistenz, dann zunehmende Zielortresistenzen, lediglich um einige Jahre verzögert.

Der Selektionsdruck durch ALS-Hemmer hat sich in den letzten Jahren kontinuierlich verstärkt. In der Folge steigen in den letzten 5 Jahren die ALS-Resistenzfunde deutlich schneller als in den Jahren zuvor. In der Konsequenz entstehen vermehrt Wirkstoffklassen überreifende Kreuzresistenzen, die eine selektive Kontrolle des Acker-Fuchsschwanzes in den verschiedenen Kulturen im Nachauflauf erschwert, oder gar unmöglich macht.

Beim Gemeinen Windhalm sind ähnliche Entwicklungen zu beobachten. Die Entwicklungsgeschichte der Herbizidresistenzen verläuft hier nur in umgekehrter Reihenfolge. Zunächst stieg die Frequenz der ALS-Resistenzen und im Nachgang, wenngleich noch im geringen Umfang, steigt die Häufigkeit von ACCase-Hemmer-Resistenzen. Resistenzen gegen Photosystem-II-Hemmer finden sich in der Häufigkeit zwischen denen der beiden anderen Wirkmechanismen wieder. Während Zielortresistenzen bei ALS-Hemmer häufig sind (~50 % der ALS-resistenten Populationen (DICKE et al., 2016)), sind sie ACCase-Zielortresistenzen im Windhalm noch sehr selten zu finden (eigene Analysen, Ergebnisse nicht dargestellt). Die Resultate lassen den Schluss zu, dass Windhalm das gleiche Potential besitzt alle Nachauflaufherbizide zu deaktivieren wie dies bei Acker-Fuchsschwanz bereits Realität ist. Einzelne multi-resistente Biotypen kommen bereits vor. Untersuchungen in diesem Rahmen mit polnischen Populationen zeigen ein häufiges Vorkommen von hochgradig resistenten Windhalmbiotypen gegen ACCase-(HRAC A), ALS (HRAC B)- und PS-II (HRAC C2)-Inhibitoren.

Insgesamt machen die Monitoringergebnisse sehr deutlich, dass die Resistenzentwicklung gegen Nachauflaufherbizide bei beiden Arten immer schneller verläuft und dringend die Strategien zur Ungrasbekämpfung gravierend verändert werden müssen. So sollte eine Anwendung von Wirkstoffen mit Bodenaktivität im Herbst in Wintergetreide zu einer Standardmaßnahme in Gebieten werden, in denen Herbstanwendungen noch wenig verbreitet sind. Dies auch deshalb, da mit Prosulfocarb (HRAC N), Flufenacet (HRAC K3), Pendimethalin (HRAC K2), Diflufenican (HRAC F1) Wirkstoffe zur Verfügung stehen, welche noch nicht oder nur äußerst gering von Resistenzen betroffen sind. Wird die Verwendung dieser Wirkstoffe allerdings durch regulatorische Maßnahmen und Auflagen weiter eingeschränkt, dürfte der Selektionsdruck auf die blattaktiven Wirkstoffe damit zunehmen. Neben der verstärkten Integration von diesen Herbiziden in den Vorauf- oder frühen Nachauflaufbereich im Wintergetreide, müssen acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen (z.B. Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Saattermin, Sorte und Saatstärke) die Ungrasdichten senken, so dass die Herbizideinsatzhäufigkeit und damit der Selektionsdruck insgesamt gesenkt werden kann.

## Literatur

- DICKE, D., C. HENSCHKE, J. PETERSEN, 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.
- NIEMANN, P., W. PESTEMER, 1984: Resistance of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) from different sites to herbicides. Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes **36**, 113-118.
- NIEMANN, P., 2000: Resistenz von Windhalm (*Apera spica-venti*) gegenüber Isoproturon. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **376**, 147-148.
- ROSENHAUER M., B. JASER, F.G. FELSENSTEIN, J. PETERSEN, 2013: Development of target-site resistance (TSR) in *Alopecurus myosuroides* in Germany between 2004 and 2012. Journal of Plant Diseases and Protection **120**, 179-187.