

## Sektion 1: Herbizidresistenz bei Unkräutern

### Section 1: Herbicide resistance in weeds

## Nicht-Zielortresistenzen bei *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* – Resistenzmuster und Resistenzfaktoren

*Non target-site resistance inherent in Alopecurus myosuroides and Apera spica-venti – resistance pattern and factors*

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

<sup>1</sup>Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Sciences and Engineering, Berlinstr. 109, D-55411 Bingen

<sup>2</sup>Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, D-63477 Maintal

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

DOI: 10.5073/jka.2012.434.004

### Zusammenfassung

Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Gemeiner Windhalm (*Apera spica-venti*) sind die bedeutendsten Ungrasarten im deutschen Getreideanbau. Beide Arten weisen mit deutlich zunehmender Tendenz regional Herbizidresistenzen auf. Bei der überwiegenden Anzahl der Resistenzfunde lassen sich keine Zielortresistenzen (target-site resistance, TSR) nachweisen. Kreuzresistenzmuster bei blatt- aber auch bei bodenaktiven Herbiziden deuten an, dass Nicht-Zielortresistenzen (non target-site resistance, NTSR) - mutmaßlich metabolische Resistenzen - ursächlich für die beobachteten Herbizidminderwirkungen sind. Von NTSR können beim Gemeinen Windhalm auch die Voraufauerherbizidwirkstoffe Diflufenican und Pendimethalin betroffen sein, während die Wirkstoffe Flufenacet, Flurtamone und Prosulfocarb bislang nicht von NTSR betroffen sind. Biotypen von Ackerfuchsschwanz zeigten ebenfalls häufig NTSR. Die Resistenzmuster sind sehr unterschiedlich, so dass sich von der Wirkung eines Herbizids nicht die Reaktionen anderer Wirkstoffe (selbst bei gleichen Wirkmechanismus) vorhersagen lassen. Die festgestellten Resistenzmuster der untersuchten Herkünfte und deren Kreuzungen deuten eine komplexe, polygene bedingte Kontrolle der NTSR-Mechanismen an.

**Stichwörter:** Diflufenican, Flufenacet, Kreuzungen, Pendimethalin, Voraufauerherbizide

### Summary

*Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* are the most important grass weeds in German cereal cropping systems. Both species show increasing resistance problems with herbicide resistant biotypes in many regions. In many cases, non target-site resistance (TSR) mechanism can be detected. In these biotypes resistance is assumingly based on non target-site-mechanisms (NTSR) and an enhanced metabolism might be responsible in the first place. Resistance in *A. spica-venti* biotypes can also be found against pre-emergence herbicides like diflufenican and pendimethalin. However, until now no resistance in *A. spica-venti* against the active ingredients flurtamone, flufenacet and prosulfocarb could be detected. *A. myosuroides* biotypes also frequently show NTSR mechanisms. Resistance patterns are variable and predictions about the efficacy of one herbicide cannot be made based on the knowledge of the effects of another ingredient even within the same mode of action group. The resistance patterns of different *A. myosuroides* biotypes and crosses indicate a complex, polygenetic control of NTSR mechanisms.

**Key words:** Crosses, diflufenican, flufenacet, pendimethalin, pre-emergence herbicides

### 1. Einleitung

Ackerfuchsschwanz und Gemeiner Windhalm sind in West- und Mitteleuropa die wichtigsten Ungräser im Wintergetreide. Durch die bereits Jahrzehnte anhaltende hohe Bedeutung des Wintergetreides in den Fruchtfolgen sind Herbizidmaßnahmen gegen diese Unkräuter häufig notwendig. Da nur eine beschränkte Auswahl an unterschiedlichen selektiven Wirkmechanismen zur Verfügung steht, die wiederum häufig eingesetzt werden, wurden seit den 1980er Jahren mit zunehmender Relevanz herbizidresistente Biotypen selektiert. Zielortresistenzen (target-site resistance, TSR) kommen bei Ackerfuchsschwanz gegen ACCase-Inhibitoren derzeit in Deutschland mit einer Frequenz von ca. 10 % aller bestätigten Resistenzfälle und bei ALS-Inhibitoren mit ca. 1-2 % zwar vor, es dominieren aber Nicht-Zielortresistenzen mit mutmaßlich metabolischen

Resistenzursachen. Beim Gemeinen Windhalm ist die Situation ähnlich, jedoch sind hier ALS TSR häufiger als beim Ackerfuchsschwanz (ca. 15 %), während ACC-TSR derzeit sehr selten anzutreffen ist (<<1 %).

Nicht-Zielortresistenzen (NTSR) haben derzeit folglich bei beiden Ungräsern eine hohe Bedeutung, wobei hinzukommt, dass selbst bei den TSR häufig auch noch weitere Resistenzmechanismen in den jeweiligen Biotypen vorhanden sein können. Die Kenntnisse über Art und Anzahl betroffener Herbizidwirkstoffe bei NTSR und Parameter, die für die Populationsdynamik der resistenten Biotypen Relevanz besitzen, sind in vielen Fällen sehr gering, ebenso wie die einzelnen Mechanismen, die die NTSR begründen.

Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es 1) zu klären, ob Voraufbauherbizide bei NTSR-Windhalmbiotypen voll wirksam sind und somit zum Resistenzmanagement bei blattaktiven Wirkstoffen beitragen können und 2) Ackerfuchsschwanzherkünfte zu identifizieren und zu charakterisieren, die sehr unterschiedliche Resistenzmuster gegen verschiedene Wirkstoffe besitzen, um eine Basis für Kreuzungsexperimente und weitergehende Untersuchungen zu schaffen, die zur Aufklärung der NTSR-Mechanismen dienen können.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Resistenzmuster von Voraufbauherbiziden bei verschiedenen Windhalmherkünften**

Aus vorangegangenen Versuchen wurden Windhalmherkünfte ausgewählt, die gegenüber blattaktiven Herbiziden mit unterschiedlichen Wirkmechanismen verschiedenste Reaktionsmuster zeigten. Alle ausgewählten Herkünfte wurden zudem auf das Vorkommen bekannter Zielortresistenzen (ALS 197 und 574; ACCase 1781, 2027, 2041, 2078, 2096) genetisch charakterisiert (Tab. 1). Deutlich wird, dass die festgestellten Herbizidresistenzen im Phänotyp überwiegend nicht oder nur teilweise mit Punktmutationen auf dem Genom des Herbizidtargets zu erklären sind und die Herkünfte daher für die hier zu prüfende Fragestellung geeignet waren. Die Windhalmherkünfte wurden in einen gedämpften sandigen Lehmboden (~pH 6,3 und Humusgehalt 2 %) in 8 cm Jiffy-Pots gesät. Die Samen wurden mit 1-2 mm feingesiebten Ackerboden abgedeckt und in einem Gewächshaus aufgestellt. Die Gefäße wurden durch Anstauen auf den Tischen von unten nach Bedarf bewässert. Zwei Tage nach der Saat erfolgte die Herbizidbehandlung im Voraufbau mit jeweils sechs Aufwandmengen (Tab. 2). Eingesetzt wurden gängige, aktuell in Deutschland zugelassene Produkte mit Ausnahme des Produktes Brodal 500 SC. Die Applikation erfolgte mit einer Einradparzellenspritze (Düse AI 110025; 200 l/ha Wasser, 4,5 km/h, 2,1 bar). Nach der Applikation erfolgte einmalig ein Bewässern von „oben“ mit ca. 3 l/m<sup>2</sup>. Je Herbizid und Aufwandmenge wurden pro Herkunft drei Wiederholungen angelegt. 21 Tage nach dem Aufbau erfolgte eine Bonitur der Wirkung (0-100 %) jeder Variante jeweils in Bezug zu einer mitgeführten unbehandelten Kontrolle je Herkunft. Mit den Daten wurden Dosis-Wirkungskurven und ED<sub>90</sub>-Werte nach den Methoden von STREIBIG et al. (1995) und STREIBIG (1998) kalkuliert. Die ED<sub>90</sub>-Werte wurden dann in Bezug zu der jeweils maximal zugelassenen Aufwandmenge des Herbizids gesetzt, um die Relevanz der Ergebnisse für die praktische Unkrautregulierung abzuschätzen.

**Tab. 1** Untersuchte Windhalmherkünfte, Jahr und Ort der Samenprobenahme und Resistenzmuster gegen blattaktive Herbizide (S – sensitiv; r- geringer Resistenzgrad; R – hoher Resistenzgrad; n.b. nicht bestimmt; TSR: Zielortresistenz gegen ALS-/ACCase-Inhibitoren mit Position der detektierten Punktmutation).

**Tab. 1** *Apera spica-venti* biotypes and resistance pattern for leaf active herbicides (S – susceptible; r – low resistance factor; R – strong resistance; n.b. – not detected; TSR: target-site resistance against ALS-/ACCase-inhibitors with position of detected SNPs).

Jahr	Herkunft	PLZ	Ort	Axial60 0,9 l/ha	Husar OD 0,1 l/ha	IPU 1,25 l/ha	Broadway 0,13 kg/ha	TSR ACCase	TSR ALS (Position)
2008	884	34613	Schwalmstadt	R	R	r	R	-	197
2009	9027	31699	Beckedorf	S	r	S	n.b.	-	-
2009	9084	54516	Wottlich	S	r	S	S	-	-
2009	9115	4552	LWB Neukirschen	S	R	S	n.b.	-	-
2009	9119	39517	Tangerhütte	S	R	S	n.b.	-	-
2009	9129	34434	Borgentreich	S	S	R	n.b.	-	-
2009	W10-037	23845	Grabau	S	R	r	n.b.	-	574
2010	W10-074	4720	Großweitschen	S	R	R	r	-	-
2010	W10-076	4769	Casabra	S	R	S	S	-	-
2010	W10-078	4758	Oschatz	S	R	S	r	-	574
2010	W10-080	4758	Nasenberg	S	r	S	S	-	-
2010	W10-107	34414	Warburg	S	R	r	R	-	197
2010	W10-146	31303	Burgdorf	r	R	r	r	-	-
2010	W10-185	DK 5200	Odense	R	R	S	r	-	574

Husar OD (100 g/l Iodosulfuron); IPU (500 g/l Isoproturon); Broadway (68,3 g/kg Pyrusulam + 68,3 g/kg Florasulam); Axial50 (50 g/l Pinoxaden)

**Tab. 2** Voraufherbizide und Aufwandmengen zur Windhalmbekämpfung in l/ha und in % zur max. zugelassenen Dosis.

**Tab. 2** *Dosages of pre-emergence herbicides (l/ha and resp. % of max. registered dosage) for Apera spica-venti control.*

Herbizid	6,25%	12,5 %	25%	50%	100%
Boxer (800 g/l Prosulfocarb )	0,3125	0,625	1,25	2,5	5
Cadou SC (500 g/l Flufenacet = Fluf.)	0,03125	0,0625	0,125	0,25	0,5
Stomp Aqua (455 g/l Pendimethalin)	0,275	0,55	1,1	2,2	4,4
Bacara ( 100 g/l Dff + 250 g/l Flurtamone = Flurt.)	0,0625	0,125	0,25	0,5	1
Bacara Forte (120 g/l Fluf.+120 g/l Dff. + 120 g/l Flurt.)	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
Brodal 500 SC (500 g/l Diflufenican = Dff)	0,0125	0,025	0,05	0,1	0,2

## 2.2 Resistenzmuster beim Ackerfuchsschwanz

Zur phänotypischen Charakterisierung der Herbizidresistenz wurden einige Herkünfte aus vorangegangenen Untersuchungen so ausgewählt, dass sie sich möglichst deutlich im Resistenzmuster und -grad unterschieden. Tabelle 3 listet die Herkünfte auf und zeigt das Ergebnis durchgeführter genetischer Untersuchungen auf Zielortresistenzen der ACCase und der ALS. Das prinzipielle Vorgehen bei der Durchführung des Versuches entsprach den oben zum Windhalm beschriebenen Methoden. Bis auf Cadou SC wurden allerdings die Herbizide (Tab. 4) im Nachauflauf (BBCH 12) appliziert. Atlantis WG wurde zusammen mit Genapol ausgebracht. Ferner wurden sechs Wiederholungen angelegt und die Pflanzen vor der Behandlung auf fünf Pflanzen pro Gefäß

vereinzelt. 21 Tage nach der Behandlung wurden die Sprossfrischmassegewichte festgestellt und wiederum Dosis-Wirkungskurven für alle fünf Herbizide (s.o.) kalkuliert und die ED<sub>90</sub>-Werte in Relation zu den maximal zugelassenen Aufwandmengen dargestellt (rel. ED<sub>90</sub>-Werte). Zusätzlich zu den Herkünften wurden auch einige F<sub>1</sub>-Populationen aus ausgewählten vorangegangenen Einzelpflanzenkreuzungen im oben beschriebenen System getestet. Die vorangegangenen Kreuzungen erfolgten zwischen den Herkünften Elbe x sen; Elbe x 9044 und 9044 x sen. Für die Kreuzungen wurden Erwartungswerte für die rel. ED<sub>90</sub>-Werte errechnet (rel. ED<sub>90</sub>-Wert Herkunft A + rel. ED<sub>90</sub>-Wert Herkunft B/2) und mit den tatsächlichen nach der oben genannten Methode ermittelten ED<sub>90</sub>-Werten verglichen.

**Tab. 3** Untersuchte Ackerfuchsschwanzherkünfte, Jahr und Ort der Samenprobenahme sowie Ergebnisse (Position) der ACCase- und ALS-Zielortresistenzen (TSR).

**Tab. 3** *Alopecurus myosuroides* biotypes (year and location of the seed sampling) and results of ACCase and ALS target-site resistance (TSR).

Jahr	Bezeichnung	PLZ	Ort	ACCase TSR	ALS TSR
2006	601	29451	Dannenberg/Elbe	-	-
2006	St21	74585	Reubach	-	-
2006	St44	78667	Villingendorf	-	-
2007	710	59229	Ahlen/Westfalen	-	-
2007	ST20	74585	Lenkerstetten	2078	-
2007	ST26	97837	Erlenbach	-	-
2008	Doc	54634	Dockendorf	2041	-
2008	869y	78176	Blumberg	-	-
2009	Elbe	21737	Wischhafen/Elbe	-	-
2009	9044	31036	Deinsen	-	-
2009	sensitiv		Herbiseed UK	-	-

**Tab. 4** Eingesetzte Herbizide und Aufwandmengen [l/ha bzw. g/ha] zur Ermittlung der Dosis-Wirkungskurven der Ackerfuchsschwanzherkünfte (Variante 1 = unbehandelt).

**Tab. 4** *Herbicides and dosages (l/ha resp. g/ha) for calculation of dose response curves for different Alopecurus myosuroides* biotypes (treatment 1 = untreated).

Herbizid/Var.	2	3	4	5	6	7
Atlantis WG (30 g/kg Mesosulfuron+6 g/kg Iodosulfuron)	50	150	300	500	1000	2000
Axial50 (50 g/l Pinoxaden)	0,3	1,2	4,8			
Cadou SC (500 g/l Flufenacet)	0,0625	0,125	0,25	0,5	0,75	1
Lentipur (700 g/l Chlortoluron)	0,5	1	2	3	6	12
Ralon Super (63,6 g/l Fenoxaprop-P)	0,3	0,6	0,9	1,2	2,4	4,8

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Einfluss von *Windhalm*-Biotypen auf die Wirksamkeit von Vorauffaflerbiziden

Die Analyse der Dosis-Wirkungskurven der Vorauffaflerbizide bei verschiedenen *Windhalm*herkünften mit Resistenz gegen blattaktive Herbizide zeigt deutlich, dass für die Herbizide Bacara, Bacara Forte, Boxer und Cadou SC gewisse Unterschiede in der Sensitivität der Herkünfte zu finden sind (Tab. 5). Diese sind aber nicht relevant, da im ungünstigsten Fall (unempfindlichste Herkunft) bereits 1/3 der zugelassenen Aufwandmenge ausreichen, um 90 % Wirkung zu erzielen. In der Mehrzahl der Fälle reichten unter den Gewächshausbedingungen hierfür bereits 10 bis 20 % der max. zugelassenen Herbizidaufwandmenge aus. Anders ist dies bei den Herbiziden Brodal 500 SC und Stomp Aqua. Hier sind bezogen auf die max. zugelassene Aufwandmenge deutliche höhere Aufwandmengen als bei den übrigen Herbiziden notwendig und die Sensitivitätsunterschiede zwischen den Herkünften sind teilweise deutlich größer. Diese Unterschiede führten dann auch dazu, dass einige resistente Herkünfte nicht mehr mit den zugelassenen Aufwandmengen zu kontrollieren waren. Deutlich wird dies beispielsweise an der Herkunft 884 bei der für eine 90 %ige Wirksamkeit

715 % der zugelassenen Aufwandmenge von Brodal 500 SC und 181 % der zugelassenen Aufwandmenge von Stomp Aqua benötigt wurden, während sensiblere Herkünfte nur 112 % der zugelassenen Aufwandmenge von Brodal 500 SC (Herkunft 9027) bzw. 56 % von Stomp Aqua (Herkunft W10-146) für eine 90 %ige Wirkung erforderten. Interessant ist auch die Beobachtung, dass den hier festgestellten NTSR gegenüber den Voraufbauherbiziden Diflufenican und Pendimethalin unterschiedliche Resistenzmechanismen zugrunde liegen dürften. Ein hoher Resistenzgrad gegen Diflufenican muss nicht zwangsweise auch eine Resistenz gegen Pendimethalin beinhalten, während dieses in umgekehrten Fall aber mit einander gekoppelt zu sein scheint.

**Tab. 5** Relative ED<sub>90</sub>-Werte (%) von Voraufbauherbiziden bei verschiedenen Windhalmherkünften in Bezug zur maximal zugelassenen Aufwandmenge (100 % = 90 % Wirkung mit max. zugelassener Aufwandmenge).

**Tab. 5** Efficacy of pre-emergence herbicides (rel. ED<sub>90</sub>-values (%) in relation to max. registered dosage) on different *Apera spica-venti* biotypes.

Herkunft	Bacara	Bacara forte	Boxer	Brodal (Dff)	Cadou SC	Stomp Aqua
884	11	12	16	715	11	181
9027	10	10	6	112	8	84
9084	33	22	6	509	14	131
9115	11	8	1	227	5	108
9119	28	11	5	129	14	78
9129	12	11	12	537	8	83
W10-037	13	20	6	256	11	62
W10-074	11	13	3	120	7	90
W10-076	11	12	7	116	7	96
W10-078	13	12	6	173	8	123
W10-080	9	8	7	205	7	104
W10-107	21	11	6	219	14	340
W10-146	11	11	11	294	10	56
W10-185	11	14	8	1535	10	178

### 3.2 Resistenzmuster beim Ackerfuchsschwanz in Abhängigkeit von Biotyp und der Biotypkreuzung

Die Zusammenstellung der rel. ED<sub>90</sub>-Werte der Ackerfuchsschwanzherkünfte macht deutlich, dass bei den verschiedenen Herkünften fast alle denkbaren Reaktionsmuster zu finden sind (Tab. 6). Alle Herkünfte wiesen eine sehr deutliche Resistenz gegen Fenoxaprop-P-Ethyl (Ralon Super) auf. Diese ACCase-Resistenz kann bei einer NTSR mit einer Pinoxadenresistenz (Axial 50) einhergehen (z.B. Herkunft 869y), was in unseren Untersuchungen aber nicht immer beobachtet wurde (z.B. Herkunft St 44). Der umgekehrte Fall trat allerdings nicht auf. Ebenfalls nicht zwangsweise korreliert sind Resistenzen gegen Chlortoluron und ACCase-Inhibitoren, wenngleich diese Kombination häufiger vorkam. Nur bei zwei Herkünften („Elbe“ und „710“) war eine „Atlantis-Resistenz“ zu erkennen, obwohl die ALS-TSR-Nachweise bei dieser Population negativ ausfielen. Bei diesen beiden Herkünften sind vermutlich NTSR-Mechanismen aktiv, die eine multiple Resistenz gegen drei oder teilweise sogar vier Wirkstoffklassen bedingten. Selbst das Voraufbauherbizid Cadou SC schien trotz anderem Wirkmechanismus und Einsatzzeitpunkt hiervon betroffen zu sein. Zwar bewegten sich die ED<sub>90</sub>-Werte für Cadou SC bei den unempfindlicheren Herkünften („710“, „ST20“ und „Elbe“) bei der maximal zugelassenen Aufwandmenge, aber der Vergleich zu den empfindlichen Biotypen machte große Sensitivitätsunterschiede deutlich. NTSR gegen Mesosulfuron schien mit einer deutlichen Unempfindlichkeit gegen Flufenacet einherzugehen, andererseits wurden Herkünfte mit geringer Flufenacet-Empfindlichkeit aber ohne Resistenz gegen Mesosulfuron beobachtet (z.B. ST20).

**Tab. 6** Relative ED<sub>90</sub>-Werte (%) versch. Herbizide bei Ackerfuchsschwanzherkünften in Bezug zur maximal zugelassenen Aufwandmenge (100 % = 90 % Wirkung mit max. zugelassener Aufwandmenge).

**Tab. 6** Efficacy of different herbicides (rel. ED<sub>90</sub>-values (%) in relation to max. registered dosage) on various *Alopecurus myosuroides* biotypes.

Herkunft	Atlantis WG (500 g/ha)	Axial50 (1,2 l/ha)	Cadou SC (0,5 l/ha)	Lentipur (3,0 l/ha)	Ralon Super (1,2 l/ha)
601	14	247	91	362	1021
St21	25	47	108	167	>1000
St44	20	75	28	95	1570
710	617	536	97	856	1688
ST20	22	625	234	216	>1000
ST26	16	177	93	567	>1000
Doc	11	233	25	221	>1000
869y	9	436	18	158	>1000
Elbe	760	163	156	222	>1000
9044	80	234	20	333	>1000
sensitiv	10	20	48	67	275

Die relativen Unterschiede in den ED<sub>90</sub>-Werten verschiedener Ackerfuchsschwanzherkünfte und deren Kreuzungen (Tab. 7) zeigten, dass sich die Resistenzfaktoren teilweise gemäß den Erwartungen (je nach Kreuzungspartner) tatsächlich verstärken oder reduzieren. Allerdings wird auch deutlich, dass teilweise die erwarteten Werte sehr deutlich von den ermittelten ED<sub>90</sub>-Werten abweichen.

**Tab. 7** Relative ED<sub>90</sub>-Werte (%) verschiedener Herbizide bei drei Ackerfuchsschwanzherkünften und deren Kreuzungen in Bezug zur maximal zugelassenen Aufwandmenge (100 % = 90 % Wirkung mit maximal zugelassener Aufwandmenge).

**Tab. 7** Efficacy of different herbicides (rel. ED<sub>90</sub>-values (%) in relation to maximum registered dose rate) on three *Alopecurus myosuroides* biotypes and their crosses.

Herkunft/Kreuzung	Status	Atlantis WG (500 g/ha)	Axial50 (1,2 l/ha)	Cadou SC (0,5 l/ha)	Lentipur (3,0 l/ha)	Ralon Super (1,2 l/ha)
sensitiv (sen)	ermittelt	10	20	48	67	275
Elbe	ermittelt	760	163	156	222	>1000
9044	ermittelt	80	234	20	333	>1000
F <sub>1</sub> 9044 x Elbe	erwartet	420	199	88	278	>1000
	ermittelt	225	1052	91	261	>1000
F <sub>1</sub> Elbe x sen	erwartet	385	92	102	144	>600
	ermittelt	114	33	25	163	176
F <sub>1</sub> 9044 x sen	erwartet	45	127	34	200	>600
	ermittelt	17	331	25	111	637

## 4. Diskussion

### 4.1 Einfluss von Windhalm-Biotypen auf die Wirksamkeit von Voraufbauherbiziden

Die Ergebnisse zur Wirksamkeit von Voraufbauherbiziden machen deutlich, dass für die wirksamen Windhalmprodukte bei entsprechender Wahl der Aufwandmenge wohl derzeit selbst auf Resistenzstandorten (Resistenz bei blattaktiven Mitteln) keine Bekämpfungsschwierigkeiten zu erwarten sind und im Umkehrschluss die Anwendung dieser Produkte im Sinne eines Resistenzmanagements empfehlenswert ist. Deutlich wurde aber auch, dass die Wirkstoffe Diflufenican und Pendimethalin als Solowirkstoffe eine deutlich geringere Potenz gegen den Windhalm besitzen als die anderen geprüften Produkte. Hier gab es relevante Differenzen in der Wirksamkeit zwischen den Biotypen mit der Konsequenz, dass von einem Resistenzverdacht gesprochen werden kann. Ferner ist festzuhalten, dass es bei einer NTSR beim Windhalm ähnlich wie beim Ackerfuchsschwanz große Unterschiede bezüglich der Resistenzmuster zwischen den Biotypen gibt. Dies legt die Vermutung nahe, dass auch beim Windhalm eine komplexe genetische Kontrolle der Herbizidresistenz vorliegt. Mittel- bis langfristig ist folglich davon auszugehen, dass weitere Wirkstoffe von der NTSR bei Windhalm betroffen sein werden.

### 4.2 Resistenzmuster beim Ackerfuchsschwanz in Abhängigkeit von Biotyp und der Biotypkreuzung

Die festgestellten Resistenzmuster und -grade gegenüber blattaktiven Herbiziden und Flufenacet unterscheiden sich bei den geprüften Ackerfuchsschwanzherkünften ohne nachgewiesene TSR stark. Diese bereits vielfach beschriebene Ergebnisse (z.B. MOSS und CUSSANS, 1985; ARLT, 1998; BÜNTE und NIEMANN, 2004; PETERSEN et al., 2008) macht es den Herbizidanwendern in Resistenzgebieten nahezu unmöglich, die in seiner Situation noch wirksamen Produkte gezielt auszuwählen, ohne sie selbst ausprobieren zu müssen. Es werden daher dringend Methoden benötigt auch NTSR schnell und einfach zu charakterisieren, um die entsprechenden Anwendungsempfehlungen zu ermöglichen und unwirksame Herbizidanwendungen zu vermeiden. Aus der Vielzahl der ermittelten Resistenzmuster und auch aus den wenigen Kreuzungsergebnissen lässt sich die Tendenz ablesen, dass die NTSR beim Ackerfuchsschwanz sehr unterschiedlich gesteuert werden. PETIT et al. (2010) zeigen dies für einige französische Ackerfuchsschwanzherkünfte. Mindestens ein bis drei, teilweise sogar sieben Genorte sind bei einer NTSR beteiligt. Da die NTSR-Gene zumindest teilweise unanhängig voneinander vererbt werden, können unterschiedliche Phänotypen entstehen und sich verschiedene Resistenzgene neu kombinieren bzw. in einem Biotyp akkumulieren. Eine Herausforderung wird folglich sein, die Resistenzmechanismen der NTSR aufzuklären und diese Kenntnisse für die Charakterisierung von Resistenzfunden zu nutzen bzw. in entsprechende Schnelltests umzusetzen.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen Einsendern von Ungrassamenproben, der Firma Syngenta, Maintal für die technische und finanzielle Unterstützung sowie bei der Firma Epilogic, Freising, für die TSR-Analysen der Ackerfuchsschwanzherkünfte.

## Literatur

- ARLT, K., 1998: ERGEBNISSE EINES VIERJÄHRIGEN MONITORINGS ZUM AUFTRETEN VON HERBIZID-WIRKUNGSVERLUSTEN BEI DER BEKÄMPFUNG DES ACKERFUCHSSCHWANZES *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVI**, 419-424.
- BÜNTE, R. UND P. NIEMANN, 2004: ERGEBNISSE EINES GEZIELTEN MONITORINGS AUF HERBIZIDRESISTENZ BEI *ALOPECURUS MYOSUROIDES* IN NORDWEST-DEUTSCHLAND. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XIX**, 863-869.
- MOSS, S.R. UND G.W. CUSSANS, 1985: VARIABILITY IN THE SUSCEPTIBILITY OF *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. (BLACK-GRASS) TO CHLORTOLURON AND ISOPROTURON. ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY **9**, 91-98.
- PETERSEN, J.; J.-M. NESER UND M. DRESBACH-RUNKEL, 2008: RESISTANT FACTORS OF TARGET-SITE AND METABOLIC RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.). JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 25-30.

- Petit, C., B. Duhieu, K. Boucansaud und C. Délye, 2010: COMPLEX GENETIC CONTROL OF NON-TARGET-SITE-BASED RESISTANCE TO HERBICIDES INHIBITING ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE AND ACETOLACTATE-SYNTHASE IN *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. *PLANT SCIENCE* **178**, 501-509.
- STREIBIG, J.C., 1988: HERBICIDE BIOASSAY. *WEED RESEARCH* **28**, 479-484.
- STREIBIG J.C., A. WALKER und A.M. BLAIR, 1995: VARIABILITY OF BIOASSAYS WITH METSULFURON-METHYL IN SOIL. *WEED RESEARCH* **35**, 215-224.