

Einfluss von Imazamox-haltigen Herbiziden auf die Resistenzentwicklung bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in einer Raps-Getreidefruchtfolge

*Impact of imazamox containing herbicides on the development of resistance in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) within an oilseed rape / wheat crop rotation*

Maria Rosenhauer¹, Bernd Sievernich², Jan Petersen^{1*}

¹Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Science and Engineering, Fachrichtung Agrarwirtschaft, Berlinstr. 109, 55144 Bingen, Germany

²BASF SE, E-APE/MT – LI555, 67117 Limburgerhof, Germany

*Korrespondierender Autor, petersen@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.053

Zusammenfassung

Mit der Einführung von Clearfield-Winterrapsorten wurde der Einsatz von ALS-Inhibitoren (Imazamox) auch im Winterraps möglich. Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist, ob durch den erweiterten ALS-Herbizideinsatz in der Fruchtfolge der Selektionsdruck steigt und in der Folge mit vermehrtem Auftreten herbizidresistenter Unkräuter zu rechnen ist. Um dieser Frage nachzugehen, wurde im Herbst 2011 ein Gefäßversuch (30 Gefäße a 350 l, 0,7 m²) unter Freilandbedingungen angelegt. Simuliert wurde eine zweigliedrige Fruchtfolge (Winterweizen/Raps/Winterweizen/Raps). Es wurden drei verschiedene Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte mit charakterisierten Resistenzen und fünf verschiedene Herbizidvarianten in den einzelnen Kulturen über die Fruchtfolge hinsichtlich der Populationsdynamik, der Frequenz von Zielortresistenzen und der Entwicklung der metabolischen Resistenz untersucht.

Es zeigte sich eine Interaktion zwischen Acker-Fuchsschwanz-Herkunft und Herbizidstrategie bei der Zunahme der Acker-Fuchsschwanz-Dichte. Keine Interaktion war bei dem Einsatz von Propyzamid erkennbar. Die Zielortresistenzfrequenz gegenüber ACCase-Inhibitoren nahm bei den entsprechenden Herkünften unabhängig von der Herbizidstrategie im Versuchsablauf stark zu. Hingegen war bei niedrigerer Ausgangsfrequenz von ALS-Zielortresistenz keine Veränderung nachweisbar. Dies war unabhängig vom zusätzlichen Imazamox-Einsatz in den Winterrapsanbauperioden. Beim Vergleich der Resistenzfaktoren von den resistenten Ausgangspopulationen mit den Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen nach 4-jährig differenziert behandelte Periode zeigte sich, dass vor allem die Pinoxaden-Resistenz bei allen Herkünften deutlich zunahm. Bei den verschiedenen Acker-Fuchsschwanz-Herkünften wurden gegenüber Imazamox geringfügige Veränderungen in der Sensitivität - Erhöhungen wie auch Abnahmen - festgestellt.

Gegenüber der Ausgangspopulation konnte keine signifikante Erhöhung der Meso- + Iodosulfuronresistenz durch die verschiedenen Behandlungsvarianten beobachtet werden.

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Integration von imazamoxtoleranten Raps in Getreidefruchtfolgen nicht zwangsläufig eine Verstärkung der Resistenzproblematik bei Acker-Fuchsschwanz ergibt.

Stichwörter: ACCase-Hemmer, ALS-Hemmer, Clearfield-Raps, Herbizidwechsel, Zielortresistenz (TSR)

Abstract

The application of imazamox as an herbicide in oilseed-rape got possible due to the introduction of Clearfield oilseed-rape varieties which are tolerant to ALS inhibitors. The question of this investigation was, if the broader use of ALS-inhibitors increases the selection pressure on herbicide resistant weeds and increases their occurrence in the crop rotation. An outdoor container trial with 30 containers (350 l, 0,7 m²) was performed, starting in autumn 2011. A winter wheat – oilseed-rape rotation was simulated for four years. Three different black-grass biotypes with different resistance pattern and 5 different herbicide programmes were analysed in this study in order to investigate the population dynamics of target-site resistance (TSR) and the development of metabolic resistance.

The trials showed interactions between the black-grass biotype and the herbicide strategy on the increase of the black-grass density. There was no interaction due to the use of propyzamide. The frequency of target-site resistance to ACCase inhibitors increased for the corresponding biotypes independently of the herbicide strategy during the trial period. The low frequency of ALS-TSR at trial start did not change during the trial period, independently of the use of imazamox in the oil-seed rape cultivation. The comparison of the

resistance factors between the original biotypes and the seeds harvested after the four year container trial showed increasing resistances against pinoxaden for all biotypes. Within the different black-grass biotypes there was a slightly decrease as well as an increase in imazamox efficacy observed. There was no significant increase of meso- + iodosulfuron resistance compared to the original biotypes from 2011 caused by different herbicide treatments. The results indicated that the integration of imazamox tolerant oilseed rape in winter wheat crop rotations did not necessarily increase the development of herbicide resistant black-grass.

Keywords: ACCase inhibitor, ALS inhibitor, Clearfield oilseed-rape, herbicide rotation, target-site resistance (TSR)

Einleitung

Imazamox ist in Europa für den Einsatz in Raps mit einer Aufwandmenge von 12,5 bis 35 g a.i./ha zugelassen und gehört zu den ALS-Inhibitoren (HRAC-Klasse B). Die Hauptwirkung wird über die Aufnahme durch das Blatt bewirkt, während die Wirkung über den Boden von geringerer Bedeutung ist. Die Hauptmischpartner sind Metazachlor und Quinmerac. Beide Wirkstoffe ergänzen die Wirksamkeit von Imazamox gegenüber vielen wichtigen Unkräutern im Raps wie beispielsweise *Capsella bursa-pastoris*, *Lepidium draba*, *Bunias orientalis*, *Thlaspi arvense* und *Barbarea vulgaris*. Zusätzlich kontrollieren imazamox-haltige Herbizide auch Ausfallgetreide, so dass es eine Alternative für die Ausfallgetreide Kontrolle durch DIM/FOP (ACCCase-Hemmer, HRAC-Klasse A) gibt. Dies kann den Selektionsdruck durch ACCCase-Hemmer auf die Entwicklung resistenter Acker-Fuchsschwanz-Populationen verringern. Auf der anderen Seite wird es möglich ALS-Hemmer kontinuierlich in Getreide-Raps Fruchtfolgen und Zuckerrüben einzusetzen, was die Selektion auf ALS-resistente Populationen erhöhen kann (PRESTON, 2003; DÉLYE et al., 2007; MARECHAL et al., 2009).

Die vorliegende Studie untersuchte den Einfluss von imazamox-haltigen Herbiziden auf die Entwicklung von Herbizidresistenzen in einer zweigliedrigen Raps-Getreide Fruchtfolge. Anhand eines Gefäßversuchs im Freiland und begleitenden Gewächshausuntersuchungen wurden Veränderungen in der Populationsdichte, im Resistenzmuster und –grad bei drei verschiedenen Acker-Fuchsschwanz-Herkünften verfolgt. Weiter wurden anhand von Blattproben genetische Analysen auf Zielortresistenzen (TSR) durchgeführt, um die Veränderungen in den Frequenzen in Abhängigkeit der Herbizidstrategien zu erfassen.

Material und Methoden

Gefäßversuch im Freiland

Der Gefäßversuch im Freiland umfasste 30 Gefäße (0,7 m²), drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte, zwei Wiederholungen und fünf verschiedene Herbizidstrategien. Die drei Herkünfte („102“, „148“ und „201“) stammten von BASF und unterschieden sich bezüglich ihrer phäno- und genotypischen Resistenzmuster. Die Charakterisierung der Herkünfte vor Versuchsbeginn ist in Tabelle 1 dargestellt.

Zu Versuchsbeginn, im Oktober 2011 wurden 8,0 g Acker-Fuchsschwanz-Samen in einem 9:1 Verhältnis von sensitiven und resistenten Samen in die obere Bodenschicht (5–10 cm) jedes Gefäßes eingemischt. Zusätzliche 8,0 g Samengemisch mit gleichem Mischverhältnis wurden in Reihen zwischen die Kultur gesät. Dies diente der Etablierung eines Samenvorrates in jedem Gefäß. Als sensitiver Biotyp wurde der Wildtyp von Herbiseed (UK) verwendet. Die Fruchtfolge in den Gefäßen war eine zweigliedrige Winterweizen/Winterraps-Folge, beginnend mit Winterweizen im Jahr 2011. Die Herbizidmaßnahmen in den jeweiligen Kulturen sind in Tabelle 2 und 3 aufgeführt. Details zu der Applikationstechnik sind in Tabelle 4 dargestellt. Um einen Pollenaustausch zwischen den verschiedenen Gefäßen zu verhindern, wurden in jedem Jahr die Gefäße vor Beginn der Acker-Fuchsschwanz-Blüte bis zur Ernte entsprechend isoliert.

Tab. 1 Charakterisierung der Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte aus dem Gefäßversuch.

Tab. 1 Characterization of black-grass biotypes used in the outdoor container trial.

Jahr	Nr.	Herkunft	Resistenzmechanismus							NTSR
			ACCCase-TSR				ALS-TSR		NTSR	
			1781	2027	2041	2078	2096	197	574	
2010	102	GB	88 %	0 %	25 %	5 %	3 %	11 %	0 %	+
2010	148	DE	0 %	13 %	0 %	0 %	13 %	0 %	0 %	+
2010	201	FR	96 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	+

% - Frequenz in der Population; + vorhanden

Tab. 2 Herbizidbehandlungen im Raps des Gefäßversuchs.

Tab. 2 Herbicide treatments for oilseed-raps in the container trial.

Raps Behandlung	Produkt	Dosis	Wirkstoffe	BBCH Acker- Fuchsschwanz
I	Butisan Gold	2,5 l/ha	Metazachlor + Dimethenamid + Quinmerac	09/10
	Focus Ultra + Dash	1,0 l/ha 1,0 l/ha	Cycloxydim	14
	Butisan Kombi	2,5 l/ha	Metazachlor + Dimethenamid	09/10
II	BAS 831 00H + Dash	1,0 l/ha 1,0 l/ha	Imazamox + Quinmerac	14
	Butisan Kombi	2,5 l/ha	Metazachlor + Dimethenamid	09/10
III	BAS 831 00H + Dash	1,0 l/ha 1,0 l/ha	Imazamox + Quinmerac	14
	Kerb flo	1,875 l/ha	Propyzamid	21/22
	Vantiga + Dash	2,0 l/ha 1,0 l/ha	Metazachlor + Imazamox + Quinmerac	12
IV	Focus Ultra + Dash	1,0 l/ha 1,0 l/ha	Cycloxydim	14
	Vantiga + Dash	2,0 l/ha 1,0 l/ha	Metazachlor + Imazamox + Quinmerac	12
V	Dash	1,0 l/ha	Quinmerac	
	Kerb flo	1,875 l/ha	Propyzamid	21/22

Tab. 3 Herbizidbehandlungen im Wintergetreide des Gefäßversuchs.

Tab. 3 Herbicide treatments for winter wheat in the container trial.

	Herkunft 201					Herkunft 102					Herkunft 148				
WW 2011/12	Axial 50 (80%)*					Atlantis WG (80%) + Dash					Atlantis WG (80%) + Dash				
Raps 2012/13**	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
WW 2013/14	Atlantis WG (100%)					Axial 50 (100%)					Axial 50 (100%)				

*100% Axial 50 = 1,2 l/ha; 100% Atlantis WG = 500 g/ha

**Rapsbehandlung I, II, IV und V im Jahr 2012/13 wurden im Herbst mit Atlantis WG und zusätzlich mit 4,0 l/ha Malibu behandelt. Die Behandlung III wurde im Frühjahr nur mit Atlantis WG behandelt.

Tab. 4 Parameter der Herbizidapplikationen.*Tab. 4* Parameters of the herbicide applications.

	Gefäßversuch	Gewächshausversuch
Düse	Air mix 110-025 Flat Fan	TEE JET 9502EVS
Wasservolumen	200 l/ha	250 l/ha
Druck	2,1 bar	2,5 bar
Geschwindigkeit	4,5 km/h	2,5 km/h

Im Gefäßversuch wurden vor und nach den Herbizidbehandlungen die Anzahl lebender Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen pro Gefäß bestimmt. Auch die Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren je Gefäß wurden in jedem Jahr gezählt. Zusätzlich zu den Zählungen wurden in jedem Versuchsjahr Blattproben von bis zu 10 überlebenden Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen je Gefäß entnommen und auf die ACCase-Mutation 1781 und die ALS-Mutationen 197 und 574 untersucht. Aus den Ergebnissen der Blattproben wurde die Frequenz der TSR für das gesamte Gefäß errechnet. Im letzten Versuchsjahr 2015 wurden die gesamten Acker-Fuchsschwanz-Samen geerntet, um Dosis-Wirkungskurven im Gewächshaus im Vergleich zu den eingesetzten Acker-Fuchsschwanz-Herkünften vom Versuchsbeginn durchzuführen.

Dosis-Wirkungskurven im Gewächshausversuch

Um die Veränderung der Herbizidwirksamkeit in den drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte genauer zu untersuchen, wurden zu Versuchsende im Herbst 2015 Dosis-Wirkungskurven im Gewächshaus durchgeführt. Hierfür wurde das Ausgangssaatgut der drei Herkünfte parallel zu dem zu Versuchsende des Gefäßversuchs geernteten Saatgutes getestet. Untersucht wurden die drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte aus den Herbizidbehandlungen I, II und IV. Bei den Behandlungen III und V war aufgrund der Kerb flo-Behandlung nicht ausreichend Saatgut vorhanden. Weiter wurde eine sensitive Vergleichsherkunft mitgeführt, die auch zu Versuchsbeginn mit in die Gefäße eingesät wurde. Insgesamt wurden drei Herbizide, Axial 50, Atlantis WG und Pulsar 40 mit je sieben Dosierungen in sechsfacher Wiederholung getestet. Dabei wurden für die sensitive Herkunft niedrigere Dosierungen als für die resistenten Herkünfte gewählt (Tab. 5). Je Topf wurden fünf Pflanzen auf gedämpften Ackerboden (sandiger Lehm, pH-Wert 6,3, Anteil organischer Substanz ca. 2 %) angezogen und im BBCH 11-12 mit den Herbiziden behandelt. Für die Applikation wurde ein Spritzautomat der Firma Schachtner verwendet (Tab. 4). Einundzwanzig Tage nach der Applikation wurden die Frischgewichte der einzelnen Pflanzen gemessen und Dosis-Wirkungskurven nach STREIBIG (1988) mit der Statistiksoftware SAS berechnet. In Tabelle 4 sind die verwendeten Herbizide und Dosierungen aufgeführt.

Tab. 5 Herbizide und Dosierungen des Gewächshausversuchs.*Tab. 5* Herbicides and dosages used for the greenhouse trial.

Herbizid	Herkunft	Dosierungen (% der zugelassene Aufwandmenge)						
		1	2	3	4	5	6	7
Axial 50 [1,2 l/ha]*	sen	3,125	6,25	12,5	25	50	100	200
	res	25	50	100	200	500	1000	2000
Atlantis WG [500 g/ha]*	sen	3,125	6,25	12,5	25	50	75	100
	res	12,5	25	50	75	100	200	400
Pulsar 40 [0,875 l/ha]**	sen	6,25	12,5	25	50	75	100	200
	res	25	50	75	100	200	400	800

* in DE zugelassene Aufwandmenge (100 %); ** in Europa max. zugelassene Aufwandmenge (100 %)

Ergebnisse

Gefäßversuch im Freiland

Für den Vergleich der Acker-Fuchsschwanz-Dichte im Versuchsablauf wurde die Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren als Parameter bestimmt. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Ährenanzahl seit 2012 für Herkunft "102". Behandlung I und III führten zu einem Rückgang der Ährenanzahl seit Versuchsbeginn. Die anderen drei Behandlungen resultierten in einem starken Anstieg der Ährenzahlen pro Gefäß. Die Entwicklung bei Behandlung IV wurde sehr stark dadurch beeinflusst, dass in drei aufeinanderfolgenden Jahren ACCase-Hemmer zur Bekämpfung von ALOMY mit ACCase-TSR eingesetzt wurden. Von der im Raps begleitenden und im Nachauflauf durchgeführten Behandlung mit Vantiga+Dash kann bei diesem Acker-Fuchsschwanz-Druck keine ausreichende Unterstützung erwartet werden. Im Gegensatz dazu brachte Butisan Gold, eingesetzt im VA (Beh. I) die notwendige Unterstützung in der Gräserwirkung.

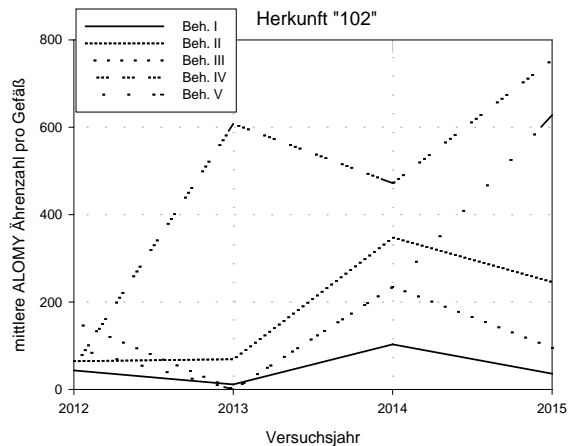


Abb. 1 Mittlere Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren pro Gefäß aller Versuchsjahre für Herkunft „102“.

Fig. 1 Mean value of black-grass heads per container of all years for biotype "102".

Bei Herkunft "148" führte Behandlung IV zu einem deutlichen Anstieg der Ährenanzahl zu Versuchsende 2015 (Abb. 2). Auch diese ALOMY-Herkunft wurde stark durch die drei aufeinander folgenden Jahre mit ACCase-Hemmern beeinflusst. Die im Nachauflauf durchgeführte Vantiga+Dash-Behandlung im Raps kann unter diesem Druck nicht ausreichend unterstützen. Mit Behandlung III konnte der Besatz fast vollständig kontrolliert werden, während die Verunkrautung nach Behandlung I und II nahezu gleich blieb. Behandlung I und II führten zu einem Anstieg der Ährenzahlen.

Für Herkunft "201" zeigte sich ein anderer Verlauf der Ährenzahlen über den Versuchszeitraum (Abb. 3). Aufgrund der in dieser Herkunft mit hoher Frequenz vorliegenden ACCase-TSR, konnte durch den Einsatz von Axial zu Beginn der Versuchsperiode keine ausreichende Wirkung erzielt werden. Dennoch wurde die Ährenzahl in den Folgejahren durch alle fünf Behandlungsvarianten und dem Einsatz von Atlantis in Winterweizen deutlich reduziert. Am besten kontrollierte Behandlung V diese Herkunft, gefolgt von Behandlung III und I.

Es zeigte sich, dass je nach Herkunft unterschiedliche Herbizidstrategien besser oder schlechter für die Kontrolle des Acker-Fuchsschwanzes geeignet waren. Gute Kontrolle konnte mit den Behandlungen III (Butisan Kombi + BAS 831 00H + Kerb flo) und V (Vantiga + Kerb flo) herkunftsübergreifend erzielt werden.

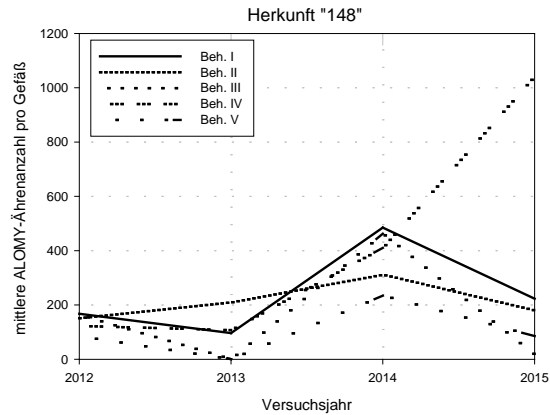


Abb. 2 Mittlere Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren pro Gefäß aller Versuchsjahre für Herkunft „148“.

Fig. 2 Mean value of black-grass heads per container of all years for biotype "148".

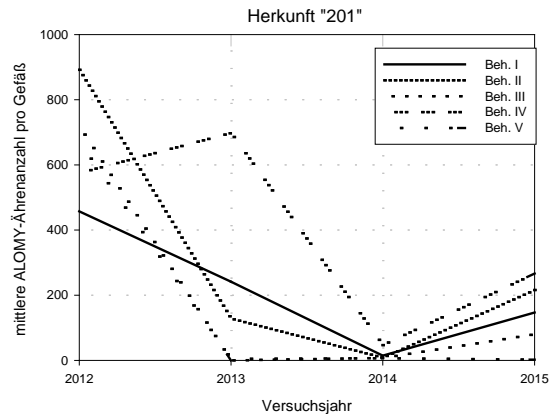


Abb. 3 Mittlere Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren pro Gefäß aller Versuchsjahre für Herkunft „201“.

Fig. 3 Mean value of black-grass heads per container of all years for biotype "201".

Genetische Resistenzanalyse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Frequenzentwicklung der Zielortresistenzen (TSR) aus den Jahren 2012 bis 2015 für jede Herkunft in Abhängigkeit der Behandlungsstrategie dargestellt. Da über die Jahre vornehmlich die Mutation 1781 im ACCase-Gen und kaum Mutationen im ALS-Gen (197 und 574) gefunden wurden, beschränkt sich die Darstellung auf die ACCase-Mutation 1781. In Tabelle 6 sind die Frequenzen der 1781-TSR für die drei Acker-Fuchsschwanzherkünfte und die verschiedenen Herbizidstrategien aufgeführt. Sie beziehen sich auf die detektierte Frequenz im Jahr 2012.

Für Herkunft „102“ wurde in allen Herbizidstrategien mit Ausnahme von Behandlung III eine deutliche Zunahme der Zielortresistenz von einer auf 241 Pflanzen je Gefäß (Behandlung IV) verzeichnet. Weder die „normale“ Herbizidstrategie, noch die Clearfield-Strategie konnten die Selektion der ACCase-TSR verhindern oder verlangsamen. Am besten konnte die Zunahme der 1781 TSR bei der Herkunft „102“ mit 2,5 l/ha Butisan Kombi + 1,0 l/ha BAS 831 00H + 1,0 l/ha Dash + 1,875 l/ha Kerb flo (Beh. III) gedämmt werden. Dieses Ergebnis ist im Wesentlichen auf das

Zusammenwirken von Butisan Kombi im VA und Kerb flo im NA zurückzuführen. Bei fehlender Unterstützung durch Metazachlor im VA (Beh. V) verliert auch Kerb flo an Wirkung.

Bei der Acker-Fuchsschwanz-Herkunft „148“ nahm die 1781 TSR nach allen Behandlungsstrategien zu. Zu Versuchsende 2015 waren die TSR-Frequenzen um ein Vielfaches gegenüber der Ausgangsfrequenz gestiegen (Tab. 6). Die „normalen“ Kontrollstrategie (Beh. I) bewirkte keine ausreichende Resistenzkontrolle bei Herkunft „148“. Auch Behandlung II und IV reduzierten die Zielortresistenzen nicht. Die meisten 1781-TSR Pflanzen wurden nach Behandlung IV gefunden. Die Ergebnisse für Herkunft „148“ weisen auf eine deutliche Selektion der ACCase-TSR hin. Da dies wegen der geringen Ausgangs-TSR-Frequenz überraschende Ergebnisse sind, liegt den Schluss nahe, dass die Bestimmung der Ausgangsfrequenzen nicht im ausreichenden Umfang erfolgte und eventuell insgesamt höhere ACCase-TSR Frequenzen in den Populationen vorhanden waren.

Die Ergebnisse der genetischen Analyse für Herkunft „201“ zeigten, dass bei dieser Acker-Fuchsschwanzherkunft eine Reduktion der 1781-TSR, im Vergleich zu 2012 möglich war. Bei allen Herbizidstrategien, ausgenommen Behandlung IV, waren 2015 weniger Pflanzen mit 1781-TSR in den Gefäßen als im Jahr 2012. Herkunft „201“ wurde am besten mit der Herbizidstrategie V kontrolliert (6,8 % TSR 2015) (2,0 l/ha Vantiga + 1,875 l/ha Kerb flo). Auch Behandlung III konnte die hohe Anzahl 1781-TSR stark reduzieren (16,5 %). Die Kombination von Butisan Kombi + BAS 831 00H + Dash + Kerb flo scheint ein geeignetes Verfahren, um auf hohe Zielortresistenzdichte zu reagieren. Vorausgesetzt, die Kerb flo-Behandlung kann zuverlässig durchgeführt werden.

Tab. 6 Entwicklung der Pflanzen mit ACCase-Zielortresistenz an der Position 1781 von 2012 bis 2015 in Abhängigkeit von Acker-Fuchsschwanz-Herkunft und Herbizidstrategie.

Tab. 6 Development of plant density with ACCase target-site resistance at position 1781 from 2012 to 2015 depending of black-grass population and herbicide treatment.

Herkunft	Herbizid- behandlung	Anzahl Pflanzen mit ACCase Mutation (Pos. 1781) je Gefäß			
		2012	2013	2014	2015
102	I	12,6	18,6	13,6	23,6
	II	2,8	15,9	54,5	45,6
	III	13,2	0*	68,5	4,9
	IV	1,1	117,2	70,0	241,7
	V	7,8	0*	27,5	56,4
148	I	4,4	35,2	10,1	81,4
	II	2,8	0,9	28,5	55,5
	III	1,4	0*	105,3	10,0
	IV	2,3	36,6	23,0	165,3
	V	0,9	0*	55,1	18,2
201	I	42,8	109,1	5,1	26,5
	II	47,4	78,7	0,9	28,4
	III	60,8	0	307,6	10,3
	IV	49,9	280,4	12,5	78,8
	V	43,9	1,8	213,4	3,1

* keine überlebenden Pflanzen für Beprobung vorhanden

Dosis-Wirkungskurven im Gewächshaus

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Dosis-Wirkungsversuche der getesteten Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte aufgeführt. Der ED₅₀-Wert gibt die Herbizidmenge (in g oder l/ha formuliertes Produkt) an, die notwendig ist, um die Pflanzenfrischmasse um 50 % zu reduzieren. Der Resistenzfaktor (RF) stellt den ED₅₀-Wert der resistenten Herkünfte ins Verhältnis zu dem sensitiven Biotyp (RF = ED₅₀ res/ED₅₀ sen).

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Steigerung der Pinoxaden-Resistenz bei der Acker-Fuchsschwanz-Herkunft „102“. Der ED₅₀-Wert stieg bei allen Behandlungen während des 4-jährigen Gefäßversuchs. Am stärksten erhöhte sich der ED₅₀-Wert für Pinoxaden durch Behandlung

I (ED₅₀=180 g/ha). Auch für die Acker-Fuchsschwanz-Herkunft „148“ zeigte der Gewächshausversuch für alle Behandlungen steigende ED₅₀-Werte gegenüber Pinoxaden. Auch hier stiegen die ED₅₀-Werte über die zugelassene Aufwandmenge. Die deutlichste Steigerung war nach Behandlung I zu verzeichnen (ED₅₀=126 g/ha). Für die Acker-Fuchsschwanz-Herkunft „201“ zeigte sich schon zu Versuchsbeginn eine stärkere Axial-Resistenz (ED₅₀=81,5 g/ha). Diese verschärfte sich durch Behandlung I und IV auf einen ED₅₀-Wert von bis zu 154,5 g/ha. Lediglich Behandlung II führte zu einer Abnahme des ED₅₀-Wertes.

Die Wirkung von Meso- + Iodosulfuron variierte zwischen den Herkünften. Eine Abnahme des ED₅₀-Wertes war bei allen drei ALOMY Herkünften durch Behandlung I zu beobachten (Tab. 7). Behandlung II und IV führten je nach Herkunft zu unterschiedlichen Ergebnissen. Mit Ausnahme von Behandlung IV, bei Herkunft „102“, wurde die Sensitivität der verschiedenen Herkünfte gegenüber Atlantis WG nicht negativ durch die im Prüfprogramm durchgeführten Herbizidbehandlungen beeinflusst. Jedoch lag der ED₅₀-Wert aller Herkünfte, unabhängig von den Behandlungen in den Gefäßen weit unter der zugelassenen Aufwandmenge.

Die Wirkung von Imazamox entwickelte sich für die einzelnen ALOMY Herkünfte unterschiedlich. Während bei Herkunft „102“ alle Behandlungen zu einer Zunahme des ED₅₀-Wertes führten, reduzierte sich der ED₅₀-Wert bei Herkunft „148“ nach Behandlung I leicht. Bei Herkunft „201“ konnte nach Behandlung I und II eine Reduzierung des ED₅₀-Wertes nachgewiesen werden.

Tab. 7 ED₅₀-Werte in l/ha bzw. g/ha und Resistenzfaktoren (RF) dreier Herbizide von den drei eingesetzten Acker-Fuchsschwanz-Herkünften im Vergleich vor Versuchsbeginn und nach vier Jahren unterschiedlicher Herbizidstrategien.

Tab. 7 ED₅₀-values in l/ha; g/ha and resistance factors (RF) of three herbicides and three black-grass populations in comparison before and at the end of the four years trial period with different herbicide programs.

Herkunft	Herbizid-behandlung im Gefäßversuch	Axial 50 (Pinoxaden)		Atlantis WG (Meso-+Iodosulfuron)		Pulsar 40 (Imazamox)	
		ED ₅₀ **	RF	ED ₅₀	RF	ED ₅₀	RF
sensitiv	-	0,15	1,0	12,77	1,0	0,13	1,0
102	0*	0,78	5,4	25,18	2,0	0,35	2,8
	I	3,80	26,2	24,69	1,9	0,61	4,8
	II	1,40	9,6	11,57	0,9	0,43	3,4
	IV	1,99	13,7	57,37	4,5	1,01	7,9
148	0*	0,54	3,7	33,61	2,6	0,53	4,1
	I	2,52	17,3	29,05	2,3	0,49	3,9
	II	1,52	10,4	29,51	2,3	0,76	6,0
	IV	1,98	13,6	29,44	2,3	0,60	4,7
201	0*	1,63	11,2	25,95	2,0	0,39	3,1
	I	2,40	16,5	15,96	1,2	0,37	2,9
	II	1,02	7,0	29,03	2,3	0,26	2,1
	IV	3,09	21,3	9,38	0,7	0,59	4,6

*Ausgangssaatgut 2011 vor Versuchsbeginn

** in l bzw. g/ha formuliertes Produkt

Diskussion

Zusammenfassend kann mit den vorliegenden Ergebnissen deutlich gemacht werden, dass die erfolgreiche Kontrolle von resistentem Acker-Fuchsschwanz innerhalb und außerhalb Imazamox-toleranten Rapssorten schwierig wird, wenn keine Kerb flo-Behandlung im Herbst/Winter durchgeführt werden kann. Wie mit Behandlung I und II gezeigt wurde, genügt die Kombination eines Vor- und Nachauflauferbizides bei dem Vorkommen von entsprechend resistenten Acker-Fuchsschwanz-Herkünften nicht, um ausreichende Wirkungsgrade zu erzielen. Dies gilt auch für die Behandlung mit zwei Nachauflauferbiziden (Behandlung IV) und trifft für alle drei getesteten

Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte gleichermaßen zu. Vergleicht man die beiden Rapsanbaujahre 2013 und 2015 miteinander, zeigt sich für zwei der drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte nach allen fünf Behandlungsstrategien eine steigende Anzahl von Pflanzen mit ACCase-TSR. Dies deutet auf einen fortschreitenden Selektionsprozess während des Versuchszeitraums hin (MARECHAL et al., 2009), die auch durch eingesetzte alternative Wirkungsweise in der Winterweizenanbauperiode nicht aufgehalten werden konnte.

Abhängig von der Acker-Fuchsschwanz-Herkunft zeigten sich unterschiedliche Herbizidstrategien als mehr oder weniger gut geeignet, um auf Resistenzen zu reagieren. Bemerkenswert ist, dass der Rückgang der Ährenzahlen nicht der geeignete Parameter für die Bewertung des Kontrollerfolgs zu sein scheint, da Behandlungen, die zu einem Rückgang der Ähren nicht gleichermaßen zu einem Rückgang von Zielortresistenzen führten. Dies zeigte sich bei der Herkunft „102“ bei dem die Behandlungen I und II einen Rückgang der Ähren, aber auch eine Zunahme von TSR (1718-ACCCase) bewirkten. Herkunft übergreifend kann aus dem vorliegenden Untersuchungen abgeleitet werden, dass eine wirksame Bekämpfung von resistenten Acker-Fuchsschwanz aus 2,5 l/ha Butisan Kombi + 1,0 l/ha BAS 831 00H + 1,0 l/ha Dash + 1,875 l/ha Kerb flo empfohlen werden kann. Insgesamt spielt Kerb flo eine entscheidende Rolle bei der wirksamen Bekämpfung von resistenten Acker-Fuchsschwanz, unabhängig davon, welches Anbausystem gewählt wurde. Jedoch darf das Resistenzmanagement nicht allein auf den Einsatz von Kerb flo abzielen, da dieser witterungsbedingt oft schwer umsetzbar ist. Nicht zu empfehlen ist die reine Nachauflaufbehandlung mit 2,0 l/ha Vantiga + 1,0 l/ha Focus Ultra + 1,0 l/ha Dash. Diese Behandlung führte bei allen drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünften zu einer starken Zunahme der Ährenanzahl und der ACCase-Zielortresistenzfunde, da die Metazachlor-Wirkung zu dem späten Anwendungstermin gering ausfällt und die 12,5 g/ha Imazamox dies nicht ausreichend kompensieren können.

Die zu Versuchsende durchgeführten Gewächshausversuche belegten eine starke Zunahme der Pinoxaden-Resistenz bei allen Herkünften bedingt durch die steigenden ACCase-TSR-Funde, während die Wirksamkeit von Imazamox über den Versuchszeitraum nur leicht abnahm. Allerdings war diese Abnahme nicht in allen Herkünften/Herbizidstrategien zu erkennen, jedoch deutlich geringer ausgeprägt als bei Pinoxaden. Wirksamkeitsunterschiede zwischen den Zeitpunkten vor und nach der 4-jährigen Periode konnten bei der Wirkstoffkombination Meso- + Iodosulfuron nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten, dass die Befolgung der bekannten Resistenzmanagement-Maßnahmen (MOSS und CLARKE, 1994) erforderlich ist, um schnelle Resistenzselektionen zu verhindern. Weiter konnte der Einfluss von Imazamox-haltigen Herbiziden auf die Selektion resistenter Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen durch die vorliegende Studie nicht belegt werden, da der Anteil von ALS-TSR über den ganzen Versuchszeitraum zu gering war. Grundsätzlich birgt die Vereinfachung von Anbausystemen und die Einschränkung der Herbizidwirkstoffe die Gefahr der rascheren Resistenzselektion (CHAUVEL et al., 2001).

Literatur

- CHAUVEL, B., J.P. GUILLEMIN, N. COLBACH. und J. Gasquez, 2001: Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection* **20**, 127-137.
- DÉLYE, C., Y. MENCHARI, J.P. GUILLEMIN, A. MATÉJICEK, A. MICHEL, C. CAMILLERI. und B. CHAUVEL, 2007: Status of black-grass (*Alopecurus myosuroides*) resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in France. *Weed Research* **47**, 95-105.
- MARECHAL, P.Y., F. HENRIET und B. BOSDON, 2009: Treatment influence on herbicide resistance level of Belgian *Alopecurus myosuroides* populations (black-grass). *Communications in Agricultural and Applied Biological Science* **74**, 505-514.
- MOSS, S.R. und J.H. CLARKE, 1994: Guidelines for the prevention and control of herbicide-resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection* **13**, 230-234.
- PRESTON, C., 2003: Growing herbicide tolerant canola – managing weeds and preventing problems. *Proceedings of the 2003 Victorian Cropping Systems Update, February 19 & 20, 2003.* (Eds Kaminskas D. and S. Rawlings), South Australia, Jon Lamb Communications, 140-141.
- STREIBIG, J.C., 1988. Herbicide bioassay. *Weed Research* **28**, 479-484.