

Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern

Development of herbicide resistance in black-grass (Alopecurus myosuroides) in Bavaria

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz,

Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan

*Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.054

Zusammenfassung

Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) ist eines der wichtigsten Leitunggräser im bayerischen Ackerbau. Für die Vermeidung von hohen Ertrags- und Qualitätsverlusten ist eine effektive chemische Bekämpfung in wichtigen Ackerbaukulturen wie Wintergetreide, Winterraps und Mais unverzichtbar. Durch Veränderungen in der Produktionstechnik, wie z.B. vereinfachte Fruchtfolgen, reduzierte Bodenbearbeitung und überbetrieblicher Mähdeschereinsatz, ist eine starke Ausbreitung des Acker-Fuchsschwanzes aufgetreten. Seit etwa 20 Jahren ist eine Entwicklung von herbizidresistenten Biotypen und Populationen feststellbar.

Der Bayerische Pflanzenschutzdienst führt seit 2004 systematische Untersuchungen zur Kontrolle der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz durch. Die Auswertung von Verdachtsuntersuchungen und Monitoringerhebungen beschreibt die Resistenzentwicklung von Acker-Fuchsschwanz in Bayern. Die Ergebnisse belegen die dynamische Weiterentwicklung und veränderte Ausprägungen der Herbizidresistenz. Die festgestellte Resistenzentwicklung ermöglicht eine Prognose zur weiteren Entwicklung und Bedeutung der Herbizidresistenz von Acker-Fuchsschwanz im Ackerbau Bayerns.

Stichwörter: Kreuzresistenz, multiple Resistenz, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

Abstract

Black-grass (*Alopecurus myosuroides*) is one of the most important grass weeds in Bavaria. Chemical weed control with high efficacy is very important in crops like winter cereals, oilseed rape and maize. Crop rotations with more winter cereals, reduced soil cultivation and e.g. contract harvesting enhanced distribution of black-grass in arable farming regions. Effects of herbicide resistance were observed since the last 20 years. The black-grass herbicide resistance is well observed by the official plant protection service of Bavaria. A wide experience of resistance tests shows the development of resistant black-grass and provides an opportunity for future prospects in resistance dynamics.

Keywords: Cross resistance, grass weed control, herbicide resistance management, multiple resistance

Einleitung

Acker-Fuchsschwanz ist in vielen Ackerbauregionen Bayerns das entscheidende Leitunggras für die Gestaltung erforderlicher Herbizidbehandlungskonzepte im Wintergetreide, in Winterraps und im Mais. Die Notwendigkeit für eine Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz erhöht hierbei regelmäßig den Kostenaufwand der Herbizidbehandlung. In Fällen von Resistenzentwicklungen reagiert die Anbaupraxis bisher vorwiegend durch den Einsatz möglichst leistungsfähiger Herbizide, Anpassung der Aufwandmengen und Steigerung der Behandlungshäufigkeit (GEHRING und THYSSEN, 2014). Aufgrund der Entwicklung der Resistenzdynamik bei Acker-Fuchsschwanz erhält der Bayerische Pflanzenschutzdienst jährlich etwa 30 bis 40 Samenproben zur Untersuchung auf Herbizidresistenz. Die Ergebnisse eines seit 2004 standardisierten Untersuchungsverfahrens liefern wertvolle Informationen für die Entwicklung eines standort- bzw. betriebsspezifischen Herbizidmanagements zur Vermeidung oder den möglichen Umgang mit resistenten Acker-Fuchsschwanzpopulationen. Für die Fachberatung dienen die Informationen zur Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis bei der Unkrautbekämpfung im Ackerbau.

Material und Methoden

Die Herbizidresistenz von Verdachtsproben aus der Anbaupraxis und von systematischen Monitoringproben wurde in einem Biotest unter kontrollierten Umweltbedingungen untersucht. Die Samenproben wurden mit einem Saugluft-Stufensichter (Fab. Pelz, Typ 2) aufbereitet. Anschließend wurde die Keimfähigkeit nach ISTA-Methode ermittelt. Die Aussaat erfolgte flächig mit einem Mikrolöffel auf Pflanztopfträgerplatten (10 Töpfe mit 4,5 cm Durchmesser). Die Saatstärke wurde so eingestellt, dass nach der Korngröße und Keimfähigkeit der jeweiligen Herkünfte ein relativ gleichmäßiger Pflanzenbestand im Vergleich aller im Test befindlichen Prüferkulturen erreicht wurde. Als Substrat wurde ein natürlicher Mineralboden vom Standort Freising verwendet (Parabraunerde aus Lößlehm, 2,8 % organische Substanz, pH 7,2). Die auf den mit Feinbodenmaterial befüllten Töpfen aufgebrauchten Samen wurden mit einem grobkörnigeren Material desselben Bodens abgedeckt, um eine Austrocknung zu verhindern, aber dennoch einen Lichtreiz auf den Keimling zu ermöglichen. Die Befeuchtung erfolgte durch regelmäßiges Gießen und im Anstauverfahren zur gleichmäßigen Durchfeuchtung der Pflanztöpfe. Im Laufe der Anzuchtperiode wurde eine einmalige Düngemaßnahme mit Flüssigdünger (Wuxal® 8-8-6, 100 ml/10 l Gießwasser) mit der Bewässerung vorgenommen. Die Anzucht bis zur Herbizidbehandlung fand in einer Starklichtklimakammer (Typ York® 520284) statt. Bei einer Tag-Nacht-Phase von 12:12 Stunden wurde die Temperatur in einem Bereich von 20 °C am Tag bzw. 12 °C in der Nachtperiode und die Lichtintensität in der Tagesperiode auf 70000 Lux (Lampen Typ Phillips® MT400LE/U, Weißlicht mit tageslichtähnlichem Vollspektrum, 400 µmol PAR/m²*s) geregelt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten.

Tab. 1 Im Resistenztest eingesetzte Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in the resistance test.*

Präparat	Wirkstoff	Standard-dosis	Prüfkonzentrationen			Applikations-termin
			(% Standarddosis)			
Handelsname	a.i.	g/ha	50	100	200	BBCH
Cadou SC	Flufenacet	250,00	☑	☑	-	00
Arelon Top	Isoproturon	1500,00	☑	☑	☑	10-11
Lentipur 700	Chlortoluron	2100,00	☑	☑	☑	10-11
Lexus + Trend [†]	Flupyrsulfuron	9,26	-	☑	☑	10-11
Attribut	Propoxycarbazone	53,07	☑	☑	☑	10-11
Atlantis OD	Mesosulfuron	9,72	☑	☑	☑	12
	+ Iodosulfuron	+ 1,86				
Axial 50	Pinoxaden	60,00	-	☑	☑	12
Broadway + FHS [*]	Pyroxsulam	15,03	☑	☑	☑	12
	+ Florasulam	+ 5,02				
Ralon Super + Monfast [*]	Fenoxaprop-P	76,32	-	☑	☑	12
Topik 100	Clodinafop	53,46	-	☑	☑	12
Focus Ultra	Cycloxydim	200,00	-	☑	-	12

^{*}) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

☑ = Prüfkonzentration angewendet, - = Prüfkonzentration nicht angewendet

BBCH = Skala für das phänologische Pflanzenentwicklungsstadium

Die Applikation erfolgte je nach zu prüfenden Herbizid unmittelbar nach der Einsaat und Befeuchtung im Voraufverfahren (BBCH 00) bzw. nach einer Anzuchtperiode von ca. 10-14 Tagen im Entwicklungsstadium BBCH 10-12. Hierfür wurde eine linearangetriebene Laborspritzbahn (Fab. Schachtner) verwendet. Die Applikationskabine war mit Flachstrahldüsen vom Typ TeeJet® 8001EVS ausgestattet. Bei einem Spritzdruck von 2,5 bar und einer Geschwindigkeit von 2,0 km/h betrug die Wasseraufwandmenge 200 l/ha. Bei den durchgeführten Dosis-Wirkungsversuchen wurde mit 2 bis 3 Konzentrationsstufen der eingesetzten Herbizide gearbeitet. Dabei entsprach eine der geprüften Konzentrationen der zugelassenen Standarddosis des jeweiligen Herbizids. Die Dosierung wurde so gewählt, dass bei der sensitiven

Vergleichsherkunft ein mittlerer Wirkungsgrad im Bereich von 85-95 % erzielt wurde. Bei den anwendungsspezifisch variablen Aufwandmengen der Präparate Atlantis OD® (Mesosulfuron + Iodosulfuron), Attribut® (Propoxycarbazone) und Broadway® (Pyroxulam + Florasulam) wurde die in Bayern praxisübliche Aufwandmenge als Standarddosis berücksichtigt. Das in Getreide nicht selektive Graminiazid Focus Ultra® (Cycloxydim) wurde als Indikator für Wirkortresistenz verwendet. Die Behandlungen wurden mit vier bis fünf Wiederholungen durchgeführt.

Nach der Herbizidapplikation wurden die Pflanzen für eine Wirkungsperiode von i.d.R. 21 Tagen in ein Gewächshaus verlagert. Die Lufttemperatur wurde auf 20 °C am Tag und 10 °C in der Nacht reguliert. Die Feuchtigkeit in der Raumluft bewegte sich in einem Bereich von 50-95 % rLF. In Ergänzung zur natürlichen Lichtintensität wurde Kunstlicht mit einer Stärke von 5000 bis 8000 Lux nach Bedarf zugeschaltet. Nach Abschluss der Wirkungsperiode wurde die Herbizidwirkung in % Wirkungsgrad im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert und die Sprossfrischmasse durch Wägung bestimmt.

Für die Bewertung der Herbizidsensitivität der Prüferkünfte wurde eine Resistenzklassifikation verwendet (CLARKE et al., 1994). Das Bewertungssystem beruht auf der Ermittlung von fünf Resistenzklassen. Diese ergeben sich aus dem Wirkungsunterschied zwischen einer im jeweiligen Versuch mit geprüften sensitiven und einer resistenten Vergleichsherkunft. Hierdurch können die Auswirkungen von Umwelteinflüssen bei der Versuchsdurchführung auf die Resistenzbewertung verringert werden. Für die Wirkungseinstufung wurden primär die Frischmasseergebnisse aus der Behandlung mit der Standarddosis verwendet. Bei einem Wirkungsergebnis in der Stufe 1 liegt die Herbizidwirkung gegenüber der jeweiligen Prüferkunft im Bereich der sensitiven Vergleichsherkunft. Ab der Stufe 2 dieser Klassifikation werden Herkünfte bereits als „resistent“ bezeichnet. Biotypen, die im Test die Stufen 3 bis 5 erreichten, wurden gegenüber dem jeweiligen Herbizid als deutlich bis sehr hoch resistent eingestuft. Feste Wirkungsgrenzen für die einzelnen Klassengrenzen können nicht definiert werden, weil sich diese aus den Wirkungsgraden der sensitiven und der resistenten Vergleichsherkunft im jeweiligen Test ergeben. Die Wirkungsgrenzen der Resistenzklassen werden proportional in der Wirkungsspanne zwischen der sensitiven und resistenten Vergleichsherkunft eingeteilt. Im Untersuchungszeitraum von 2004 bis 2014 wurden 407 bayerische Herkünfte bzw. Biotypen hinsichtlich ihrer Resistenzeigenschaften untersucht.

Ergebnisse

Im Untersuchungszeitraum von 2004 bis 2014 ist eine kontinuierliche, progressive Zunahme der Resistenzfälle bei den untersuchten Biotypen bzw. Herkünften gegenüber verschiedenen Herbiziden festzustellen. Bei einem jährlichen Prüfumfang von ca. 40 Resistenzuntersuchungen kann von einer zunehmend ansteigenden Resistenzdynamik bei Acker-Fuchsschwanz ausgegangen werden.

Im Vergleich der verschiedenen Herbizide sind die ACCase-Inhibitoren Fenoxaprop-P und Clodinafop mit einer Resistenzhäufigkeit von 33 bzw. 20 % der geprüften Herkünfte besonders stark von Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz betroffen (Tab. 2). Eine demgegenüber noch relativ schwächere Resistenzbelastung wurde für Pinoxaden mit einem Anteil von 13 % festgestellt. Unter den ALS-Inhibitoren sind die Herbizide Flupyrsulfuron und Propoxycarbazone mit einem Anteil von 16 bzw. 8 % der Resistenzfälle am stärksten betroffen. Die eigentlichen Standardherbizide, Atlantis® (Mesosulfuron + Iodosulfuron) und Broadway® (Pyroxulam + Florasulam), für die Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz im Frühjahr zeigen inzwischen eine geringe, gleichhohe Resistenzhäufigkeit von jeweils 2 % der Resistenzfälle (Tab. 2). Herbizide aus der Gruppe der PS-II-Inhibitoren zeigen eine deutlich unterschiedliche Resistenzbelastung. Während Chlortoluron einen Anteil von 5 % aufweist ist Isoproturon mit 1 % der Resistenzfälle nur relativ schwach betroffen. Gegenüber Flufenacet wurde bisher in Bayern noch keine Resistenz bei Acker-Fuchsschwanz festgestellt (Tab. 2).

Tab. 2 Resistenzhäufigkeit im Vergleich der untersuchten Herbizide im Mittel der Untersuchungsjahrgänge 2004 bis 2014 (n = 407 Herkünfte).

Tab. 2 Rate of herbicide resistance in case of the evaluated herbicides averaged over tests conducted 2004 - 2014 (n = 407 biotypes).

Präparat (Handelsname)	Wirkstoff (a.i.)	Anteil resistenter Herkünfte (%)
Ralon Super + Monfast*	Fenoxaprop-P	33
Topik 100	Clodinafop	20
Lexus + Trend*	Flupyrsulfuron	16
Axial 50	Pinoxaden	13
Attribut	Propoxycarbazone	8
Lentipur 700	Chlortoluron	5
Atlantis OD	Mesosulfuron + Iodosulfuron	2
Broadway + FHS*	Pyroxulam + Florasulam	2
Arelon Top	Isoproturon	1
Focus Ultra	Cycloxydim	1
Cadou SC	Flufenacet	0

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

In Bezug auf die jeweilige Wirkmechanismusgruppe sind ACCase-Inhibitoren (HRAC: A), mit einer Resistenzhäufigkeit von über 67 %, eindeutig am stärksten betroffen (Tab. 3). Bei einem Anteil von 27 % resistenter Herkünfte gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Hemmer (HRAC: B) darf die Gefährdung dieser wichtigen Herbizidgruppe allerdings auf keinen Fall unterschätzt werden (Tab. 3). Vorwiegend bodenaktiven Herbiziden aus der Gruppe der Photosystem-II-Inhibitoren (HRAC: C2) und der Zellwachstumshemmer (HRAC: K3) sind mit einer Resistenzhäufigkeit von 6 % und 0 % nur schwach bzw. nicht von Herbizidresistenz betroffen (Tab. 3). Für die Gruppe der Zellwachstums-Inhibitoren muss erwähnt werden, dass bis zum Untersuchungsjahrgang 2009 das Herbizid Pendimethalin geprüft wurde. Damals war Pendimethalin mit einer Häufigkeit von 9 % relativ stark von Resistenz betroffen. Die Prüfung von Pendimethalin wurde allerdings aufgegeben, weil das Herbizid nicht mehr gezielt zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz eingesetzt wird.

Tab. 3 Häufigkeit der Herbizidresistenz je nach Wirkmechanismusgruppe.

Tab. 3 Rate of herbicide resistance according to mode of action.

Herbizid Wirkmechanismus	HRAC (Code)	Anteil resistenter Herkünfte (%)
ACCase-Inhibitoren	A	67
ALS-Inhibitoren	B	27
Photosystem-II-Inhibitoren	C2	6
Zellwachstumshemmer	K3	0

HRAC = Herbicide Resistance Action Committee, ACCase = Acetyl-CoA-Carboxylase, ALS = Acetolactat-Synthase

Fälle von Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz verteilen sich relativ gleichmäßig in den bayerischen Ackerbaugebieten, wenngleich eine gewisse Konzentration im historischen Acker-Fuchsschwanzgebiet im westlichen Franken und Schwaben und in der Region Coburg festgestellt werden kann (Abb. 1). Eine Resistenz gegenüber einem einzigen Wirkmechanismus wurde bei 26 % der untersuchten Herkünfte festgestellt. Hierbei handelte es sich vorwiegend um Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren (91 Biotypen). Ausschließliche Resistenz gegen die Wirkmechanismusgruppen ALS- bzw. PS-II-Inhibitoren kommen mit einer Häufigkeit 11 bzw. 2 Biotypen dagegen kaum bzw. sehr selten vor (Datengrundlage für Abb. 1). Herbizidresistenz gegenüber zwei und mehr Wirkmechanismen konnte in 14 % der untersuchten Herkünfte nachgewiesen werden. Während Biotypen mit Resistenz gegenüber Herbiziden aus der HRAC-

Gruppe C2 regelmäßig gegen weitere Wirkmechanismen, ACCase-Inhibitoren bzw. ALS-Inhibitoren, Resistenzen aufweisen sind Biotypen mit einer ALS- oder ACCase-Resistenz weniger häufig gegen weitere Wirkmechanismen resistent. ALS-resistente Biotypen sind zu 84 % auch gegen ACCase-Inhibitoren und zu 29 % ebenfalls gegen PS-II-Inhibitoren resistent. Bei ACCase-resistenten Biotypen der Anteil gleichzeitiger Resistenz gegen ALS-Inhibitoren bei 38 % und gegen PS-II-Inhibitoren bei 15 % (Datengrundlage für Abb. 1).

In Fällen mit hohen Resistenzgraden im Biotest wurden molekulargenetische Untersuchungen hinsichtlich Wirkortresistenz in Auftrag gegeben. Hierbei konnten bekannte Mutationen für ALS an der Position Trp-574 und für ACCase an den Positionen Gly-2096, Ile-1781, Ile-2041 und Trp-2027 nachgewiesen werden (IDENTXX, 2014, 2015). Da die Biotypen mit einer bestätigten Wirkortresistenz ebenfalls Resistenzen gegen weitere Wirkmechanismen im Biotest aufwiesen wurden hiermit in Einzelfällen Biotypen mit multipler Resistenz bestätigt.

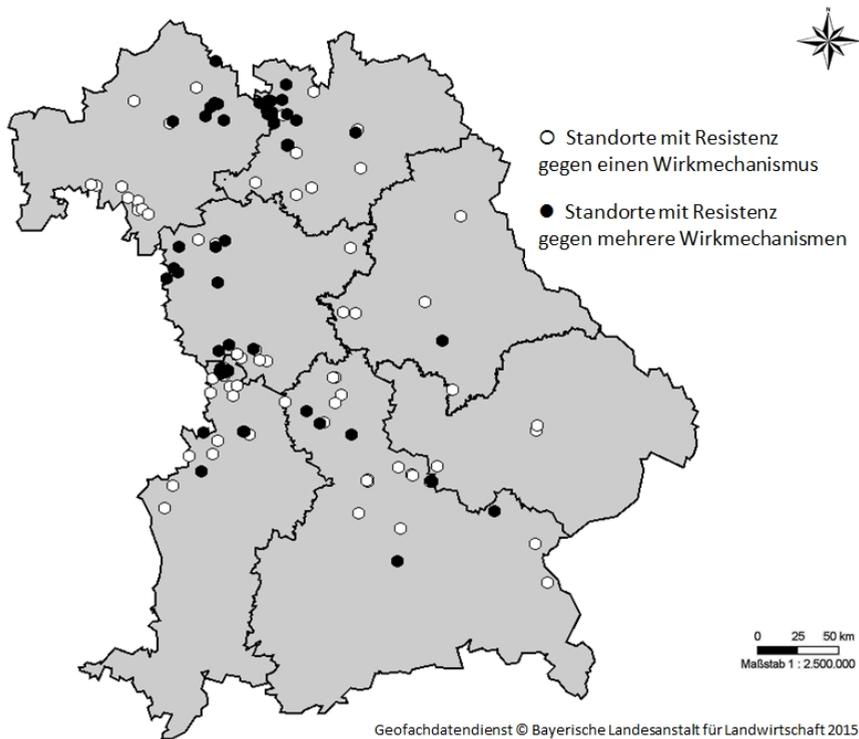


Abb. 1 Regionale Verteilung von Acker-Fuchsschwanz-Biotypen mit Einfach- und Kreuzresistenz gegen einen oder mehrere Wirkmechanismen.

Fig. 1 Distribution of black-grass biotypes with single or cross-resistance against different mode of action.

Diskussion

Die Untersuchungsergebnisse zeigen bei Acker-Fuchsschwanz im Verlauf von 2004 bis 2014 eine zunehmende, dynamische Entwicklung der Herbizidresistenz. ACCase-Inhibitoren sind nach wie vor, auch in letzten Untersuchungsjahrgängen am stärksten betroffen (GEHRING et al., 2012). In der Konsequenz hat das hierbei am stärksten mit Resistenzen belastete Herbizid Ralon Super® (Fenoxaprop-P) in der Anbaupraxis keine Bedeutung mehr für die Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz. Der ACCase-Inhibitor Clodinafop (z.B. Topik®, Sword®) wird in Winterweizen kaum noch solo, sondern in geringen Umfang nur in Kombination mit Pinoxaden (Traxos®)

verwendet. Die Regulierung von Acker-Fuchsschwanz in der Wintergerste ist dagegen stark von der Wirksamkeit von Pinoxaden (Axial®) abhängig. Bei mittleren bis höheren Besatzdichten sind Behandlungsvarianten mit vorwiegend bodenaktiven Herbiziden (HRAC-Gruppe K3) nicht ausreichend sicher (GEHRING, 2014). Die kontinuierliche Entwicklung der ACCase-Resistenz führte inzwischen zu einem Anteil von 13 % der resistenten Herkünfte mit einer Resistenz gegenüber Pinoxaden. In Fällen mit hohen Resistenzgraden und starken Besatzdichten ist auf Einzelbetriebsebene dadurch der Anbau von Wintergerste nicht mehr wirtschaftlich sinnvoll.

Für die Regulierung von Acker-Fuchsschwanz in Winterweizen ist dagegen die Situation noch relativ entspannt. In Bayern erfolgt die Herbizidbehandlung gegen Acker-Fuchsschwanz in der Mehrzahl der Fälle durch eine reine Frühjahrsbehandlung oder bei Frühsaaten und hohen Besatzdichten als Folgebehandlung im Frühjahr nach einer Herbstbehandlung mit Bodenherbiziden aus der HRAC-Gruppe K3. Die Basiswirkstoffe für die Frühjahrsbehandlung – Mesosulfuron und Pyroxulam – sind mit einem Anteil von jeweils 2 % der resistenten Herkünfte noch relativ schwach betroffen. Aus diesem Grund werden in der Anbaupraxis bisher kaum vorbeugende ackerbauliche Maßnahmen zur Vermeidung der Resistenzentwicklung umgesetzt (GEHRING, 2015).

Der Bayerische Pflanzenschutzdienst wird weiterhin mit umfangreichen Resistenzuntersuchungen wichtige Informationen für die Erarbeitung und Umsetzung eines sachgerechten und betriebsspezifischen Resistenzmanagements für die Beratung und für interessierte Landwirte liefern (GEHRING et al., 2012).

Literatur

- CLARKE, J.H., A.M. BLAIR and S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). *Aspects of Applied Biology* **37**, 181-188.
- GEHRING, K., 2014: Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern. *Getreidemagazin* **19**, 1/2014, 8-14.
- GEHRING, K., 2015: Herbizidresistenz – Bevor es ganz zu spät ist. *DLG-Mitteilungen, Sonderheft*, Mai 2015, 4-7.
- GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT und C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. *Julius-Kühn-Archiv*, **434**, 89-101.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2010: Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* Huds. (Ackerfuchsschwanz) und *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Windhalm) in Bayern. *Julius-Kühn-Archiv* **428**, 270-271.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2012: Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* Huds. in Bayern. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 128-132.
- GEHRING, K. und S. THYSSEN, 2014: Herbizideinsatz gegen schwer bekämpfbaren, herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 311-319.
- IDENTXX, 2014: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz. Unveröffentlicht.
- IDENTXX, 2015: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz. Unveröffentlicht.