

Entwicklung der Herbizidresistenz bei Windhalm (*Apera spica-venti*) in Bayern

Development of herbicide resistance in loose silky-bent grass (Apera spica-venti) 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.2016.452.055

Zusammenfassung

Der Gemeine Windhalm (*Apera spica-venti*) ist eines der wichtigsten Leitunggräser im bayerischen Ackerbau. Für die Vermeidung von hohen Ertrags- und Qualitätsverlusten ist eine effektive chemische Bekämpfung im Wintergetreideanbau unverzichtbar. Durch Veränderungen in der Produktionstechnik, wie z. B. vereinfachte Fruchtfolgen und reduzierte Bodenbearbeitung, haben die Besatzdichten in den Befallsregionen zugenommen. Seit etwa 15 Jahren ist eine deutliche Entwicklung von herbizidresistenten Biotypen und Populationen feststellbar.

Der bayerische Pflanzenschutzdienst verfügt über langjährige Erfahrungen zur Resistenzentwicklung bei Windhalm. Die Auswertung von Verdachtsuntersuchungen und Monitoringerhebungen beschreibt die Resistenzentwicklung von Windhalm in Bayern. Die Ergebnisse der Resistenzuntersuchungen werden in Bezug auf die Auswirkungen auf einzelne Herbizide, auf Wirkmechanismusgruppen und mit Effekten in Form von Kreuzresistenz ausgewertet.

Die festgestellte Resistenzentwicklung ermöglicht eine Prognose zur Weiterentwicklung und Bedeutung der Herbizidresistenz von Windhalm im bayerischen Ackerbau.

Stichwörter: Biotest, Kreuzresistenz, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

Abstract

Loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*) is one of the most important grass weeds in Bavaria. Effective chemical weed control is essential to prevent loss of yield and harvest quality in winter cereals. Crop rotations with more winter cereals and reduced soil cultivation caused a higher infestation of loose silky-bent in arable farming regions. Effects of herbicide resistance were observed since the last 15 years. Herbicide resistance of loose silky-bent is well observed by the official plant protection service of Bavaria. A wide experience of resistance tests shows the development of resistant loose silky-bent grass and provides an opportunity for future prospects in resistance dynamics.

Keywords: Biotest, cross-resistance, grass weed control, herbicide resistance management

Einleitung

Der Gemeine Windhalm ist nach Acker-Fuchsschwanz das zweitwichtigste Leitunggras im Wintergetreideanbau in Bayern. Windhalm tritt im Vergleich zum Acker-Fuchsschwanz bevorzugt auf Standorten mit mittleren bis leichteren Böden auf. Aufgrund der Hauptkeimperiode im Herbst können jahrgangweise wechselnde Besatzdichten beobachtet werden, wobei in Jahren mit einer niederschlagsreichen Witterung im Herbst tendenziell eine stärkere Windhalmwicklung auftritt. Das Schädigungspotenzial von durchschnittlich 20 bis 30 % des Wintergetreideertrages wird in der Praxis häufig unterschätzt. In der Vergangenheit in der Anbaupraxis nicht unübliche Herbizidbehandlungen mit stark reduzierten Aufwandmengen auf der Basis von Isoproturon sind inzwischen, auch aus Gründen der Resistenzvermeidung, nicht mehr gebräuchlich. Die auf Windhalm-Standorten in der Wintergerste notwendigen Herbstbehandlungen werden vorwiegend mit den Herbiziden Flurtamone, Flufenacet und teilweise mit Prosulfocarb vorgenommen. Der von der Pflanzenschutzberatung zur Vermeidung von Resistenzentwicklungen geforderte Anwendungsverzicht von Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren (HRAC-Gruppe B) im Herbst wird von der Anbaupraxis weitestgehend nachvollzogen. In Winterweizen wird die Windhalmbekämpfung zum Großteil erst im Frühjahr vorgenommen. Die Herbizidanwendung lastet hierbei vorwiegend auf Präparaten aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren.

Iodosulfuron und Pyroxulam sind Standardherbizide zur Windhalmbekämpfung im Frühjahr in Winterweizen.

Nach ersten Diskussionen hinsichtlich einer möglichen Isoproturon-Resistenz bei Windhalm Anfang der 1990er Jahre steht seit 2005 die Resistenz gegenüber ALS-Inhibitoren bzw. Sulfonylharnstoffherbiziden im Fokus der Beratungs- und Anbaupraxis. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse zur Resistenzuntersuchung bei Windhalm entstammen teilweise systematischen Monitoringerhebungen aus dem Untersuchungsjahrgang 2009; ansonsten handelt es sich um Verdachtsproben aus der Beratungs- und Anbaupraxis sowie um systematische Untersuchungen der Versuchsstandorte des bayerischen Pflanzenschutzdienstes zur Herbizidprüfung in der Windhalmbekämpfung. Die Ergebnisse dienen somit der betriebsspezifischen Ausrichtung eines sachgerechten Herbizid- bzw. Resistenzmanagements und der Fachberatung zur Vermeidung der Resistenzentwicklung durch die Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis in Form eines fundierten Anti-Resistenzmanagements.

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 Prüferkünfte 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 aufgebrachten 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. Nach Bedarf wurde i.d.R. eine einmalige Düngung 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 bis 12 °C in der Nachtperiode und die Lichtintensität in einem Bereich von 0-70000 Lux (Lampen Typ Phillips® MT400LE/U, Weißlicht mit tageslichtähnlichem Vollspektrum, 400 µmol PAR/m²*s) geregelt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten.

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. Die Behandlungen wurden mit vier bis fünf Wiederholungen durchgeführt.

Tab. 1 Im Resistenztest verwendete Herbizide.**Tab. 1** *Herbicides used in the resistance test.*

Präparat	Wirkstoff	Standard-dosis g/ha	Prüfkonzentrationen (% Standarddosis)			Applikations- termin BBCH
			50	100	200	
Handelsname	a.i.					
Bacara forte	Flufenacet + Flurtamone + Diflufenican	96,00 + 96,00 + 96,00	☑	☑	-	00
Cadou SC	Flufenacet	175,00	☑	☑	-	00
Arelon Top	Isoproturon	500,00	☑	☑	☑	10-11
Lentipur 700	Chlortoluron	1050,00	☑	☑	☑	10-11
Lexus + Trend*	Flupyrsulfuron	9,26	-	☑	☑	10-11
Axial 50	Pinoxaden	45,00	-	☑	☑	12
Broadway + FHS*	Pyroxsulam + Florasulam	8,88 + 2,96	☑	☑	☑	12
Falkon	Penoxsulam + Diflufenican	15,00 + 100,00	☑	☑	☑	12
Husar OD	Iodosulfuron	9,32	☑	☑	☑	12
Monitor + FHS*	Sulfosulfuron	10,00	☑	☑	☑	12

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

☑ = Prüfkonzentration angewendet, - = Prüfkonzentration nicht angewendet

BBCH = Skala für das phänologische Pflanzenentwicklungsstadium

Nach der Herbizidapplikation wurden die Pflanzen für eine Wirkungsperiode von in der Regel 21 Tagen in ein Gewächshaus verlagert. Die Solltemperatur wird auf 20 °C am Tag und 10 °C in der Nacht reguliert. Die Feuchtigkeit 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 Herbizidsensitivität der jeweiligen Prüferkunft im Bereich der sensitiven Vergleichsherkunft. Ab der Stufe 2 dieser Klassifikation werden Herkunftsorte zwar bereits als „resistent“ bezeichnet, für die Resistenzeinstufung der Prüferkünfte wurde die Stufe 2 jedoch als intermediär mit einem Verdacht auf Herbizidresistenz bewertet. Biotypen, die im Test die Stufen 3 bis 5 erreichten, wurden gegenüber dem jeweiligen Herbizid als resistent bis hoch resistent eingestuft.

Ergebnisse

Der Bayerische Pflanzenschutzdienst führt seit 2004 ein systematisches Untersuchungsprogramm zur Überprüfung der Herbizidresistenz bei Windhalm durch. Während in den ersten Jahren nur sporadische Einzelfälle auftraten, ist seit dem Jahrgang 2009 eine deutliche Zunahme von Herkunftsorten mit herbizidresistentem Windhalm festzustellen. Die Steigerung der Resistenzhäufigkeit wurde vorwiegend durch eine zunehmende Resistenz und Kreuzresistenz gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Hemmer (HRAC: B) verursacht. Im Mittel der bisherigen Untersuchungen von 162 Herkunftsorten ist die IPU-Resistenz mit einem Anteil von 21 % zwar bedeutend, die Resistenz gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren (Flupyrsulfuron, Iodosulfuron, Sulfosulfuron, Penoxsulam, Pyroxsulam) dominiert allerdings die

Resistenzentwicklung mit einem Anteil von 77 Prozent. Resistenzen gegenüber ACCase-Inhibitoren (Pinoxaden) sind bisher nur in seltenen Einzelfällen nachgewiesen worden (Tab. 2, Tab. 3).

Tab. 2 Resistenzhäufigkeit im Vergleich der untersuchten Herbizide im Mittel der Untersuchungsjahrgänge 2004 bis 2014 (n = 162 Herkünfte).

Tab. 2 Rate of herbicide resistance in case of the evaluated herbicides averaged over tests conducted 2004 - 2014 (n = 162 biotypes).

Präparat (Handelsname)	Wirkstoff (a.i.)	Anteil resistenter Herkünfte (%)
Husar OD	Iodosulfuron	12
Lexus + Trend*	Flupyrsulfuron	12
Arelon Top	Isoproturon	11
Monitor + FHS*	Sulfosulfuron	8
Falkon	Penoxsulam + Diflufenican	5
Broadway + FHS*	Pyroxulam + Florasulam	4
Axial 50	Pinoxaden	1
Bacara forte	Flufenacet + Furtamone + Diflufenican	0
Cadou SC	Flufenacet	0
Lentipur 700	Chlortoluron	0

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

Tab. 3 Häufigkeit der Herbizidresistenz je nach Wirkmechanismusgruppe im Untersuchungszeitraum 2004 bis 2014 (n = 162 Herkünfte).

Tab. 3 Rate of herbicide resistance according to mode of action conducted 2004 - 2014 (n = 162 biotypes).

Herbizid Wirkmechanismus	HRAC (Code)	Anteil resistenter Herkünfte (%)
ALS-Inhibitoren	B	77
ACCase-Inhibitoren	A	2
Photosystem-II-Inhibitoren	C2	21
Zellwachstumshemmer	K3	0

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

Gegenüber den Bodenherbiziden Chlortoluron, Flufenacet und der Wirkstoffkombination Flufenacet + Flurtamone + Diflufenican (Bacara forte®) sind bisher in Bayern noch keine Herbizidresistenzen nachgewiesen worden. Resistenz gegenüber Pinoxaden ist bisher nur in zwei Fällen in den Untersuchungsjahrgängen 2009 und 2012 festgestellt worden. In der Behandlungspraxis ist damit die Windhalmresistenz gegenüber Präparaten aus der Gruppe der ALS-Hemmer die absolut dominierende Problematik. Die Verteilung von resistenten Windhalm-Herkünften zeigt eine weitgehend einheitliche Betroffenheit in den traditionellen Windhalmregionen Süd-Bayerns (Abb. 1).

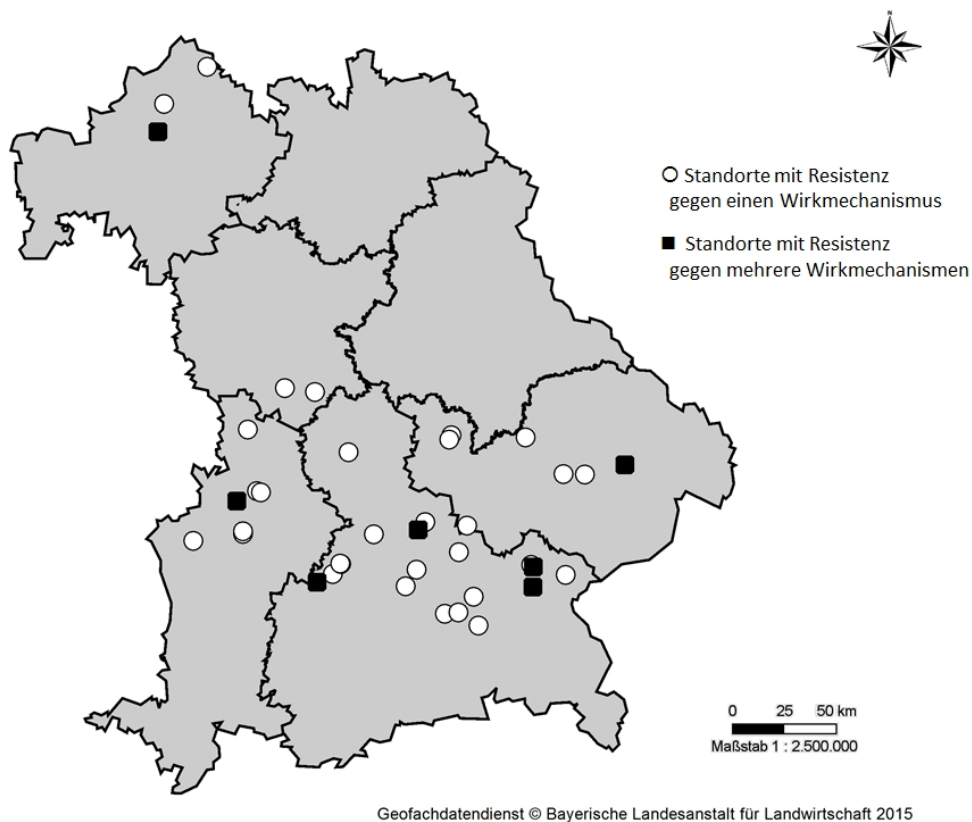


Abb. 1 Windhalm-Resistenz in Bayern – regionale Verteilung von Biotypen mit Einfach- und Kreuzresistenz gegen einen oder mehrere Wirkmechanismen.

Fig. 1 Herbicide resistance of loose silky-bent grass in Bavaria – distribution of biotypes with single or cross-resistance.

Bei der in Abbildung 1 dargestellten Verteilung der Resistenzformen dominiert inzwischen die Resistenz gegenüber ALS-Inhibitoren (18 Biotypen) im Vergleich zur Resistenz gegen PS-II-Inhibitoren (12 Biotypen). Bei Kreuzresistenz gegenüber mehreren Wirkmechanismusklassen handelt es sich vorwiegend um Biotypen mit Resistenz gegen ALS- und PS-II-Inhibitoren. Resistenz gegen ALS-, PS-II- und ACCase-Inhibitoren ist bisher in Bayern nur im Einzelfall aufgetreten. Bei Kreuzresistenz innerhalb der Wirkmechanismusgruppe der ALS-Inhibitoren sind die Herbizide Iodosulfuron (30 %) und Flupyrsulfuron (29 %) gleichwertig und am stärksten betroffen. Das inzwischen nicht mehr zugelassene Herbizid Sulfosulfuron ist mit einem Anteil von 20 % stärker betroffen als das Standardherbizid für den Frühjahrseinsatz Pyroxulam (9 %). Auffällig ist der Resistenzanteil von Penoxulam (12 %) das nur eine relativ geringe Bedeutung im Praxiseinsatz besitzt. Eine ebenfalls nach wie vor überraschende Tatsache ist die nicht vorhandene Kreuzresistenz zwischen den PS-II-Inhibitoren Isoproturon und Chlortoluron. In Bayern wurden bisher bei Windhalm nur Resistenzen gegenüber Isoproturon nachgewiesen.

Bei auffälligen Biotypen mit insbesondere hohen bis sehr hohen Resistenzgraden gegenüber ALS-Inhibitoren wurden in Einzelfällen molekulargenetische Untersuchungen in Auftrag gegeben. Hierbei wurde für eine Herkunft eine heterozygote Wirkortresistenz vom Typ TRP-574 bestätigt (IDENTXX, 2015). Da diese Herkunft im Biotest nur Resistenzen gegenüber ALS-Inhibitoren aufwies, kann bisher für Windhalm in Bayern noch keine Form von Multiresistenz nachgewiesen werden.

Diskussion

Die Herbizidresistenz bei Windhalm entwickelt sich aufgrund einer zunehmenden Resistenzdynamik bei ALS-Inhibitoren zu einem ernsthaften Problem in der Anbaupraxis. Während bei Wintergerste und früh gesättem Winterweizen auf bisher nicht resistenzgefährdete Boden-Breitbandherbizide aus der Wirkmechanismuskategorie HRAC K3 ausgewichen werden kann, ist die Windhalmbekämpfung in Winterweizen zu einem Großteil auf den Einsatz von blattaktiven Herbiziden im Frühjahr angewiesen (GEHRING, 2014). Der zunehmend hohe Anteil an Resistenzbestätigungen gegenüber ALS-Inhibitoren und die in konkreten Einzelfällen nachgewiesene, hohe Resistenzdynamik bestätigt die starke Gefährdung dieser Wirkmechanismusgruppe für eine ausreichende Regulierung von Windhalm. Ein Ausweichen auf das in Bayern bisher nur sehr selten von Resistenz betroffene Herbizid Pinoxaden (HRAC: A) stellt keine nachhaltige Wirkstoffstrategie dar, weil auch dieser Wirkstoff bzw. diese Wirkmechanismusgruppe als resistenzgefährdet eingestuft werden muss (RAFFEL et al., 2010). Für ein Herbizidmanagement zur Vermeidung von multiresistenten Windhalm-Populationen (AUGUSTIN, 2010) kann daher nur auf den verstärkten Einsatz von weniger gefährdeten Bodenherbiziden aus der HRAC-Kategorie K3 ausgewichen werden (GEHRING et al., 2012). Die bisher aus Gründen der Wirtschaftlichkeit bzw. Kosteneinsparung noch üblichen Anwendungen von Isoproturon zur Windhalm-Bekämpfung sollten nach Möglichkeit durch den Einsatz von Chlortoluron ersetzt werden, da zwischen diesen beiden Herbiziden aus der Gruppe der PS-II-Inhibitoren (HRAC: C2) bisher noch keine Kreuzresistenzen bei Windhalm aufgetreten sind. Als ackerbauliche Maßnahme zur Verringerung der Resistenzdynamik bei Windhalm besteht die Option für einen reduzierten Anbau von Wintergetreide im Rahmen der Fruchtfolge. Dieser Maßnahme stehen allerdings wirtschaftliche Hemmnisse entgegen. Ein Verstärker Verzicht auf den Wintergetreideanbau kann in der Marktfruchtproduktion aus Gründen der Produktionsrentabilität nicht umgesetzt werden. Als vorbeugende Maßnahme zur Verringerung des Resistenzrisikos sollte daher auch in Winterweizen eine bevorzugte Bekämpfung von Windhalm durch Herbstbehandlungen auf Basis von Herbiziden aus der HRAC-Gruppe K3 vorgenommen werden, um den Selektionsdruck gegenüber ALS-Inhibitoren zu begrenzen und eine Resistenzentwicklung gegenüber ACCase-Inhibitoren von Windhalm zu vermeiden (GEHRING, 2015).

Literatur

- AUGUSTIN, B., 2010: Windhalm-Herkunft aus Rheinland-Pfalz mit multipler Herbizidresistenz. Julius-Kühn-Archiv, **428**, 271-272.
- CLARKE, J.H., A.M. BLAIR und 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 *Apera spica-venti* L. in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **434**, 133-137.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2014: Entwicklung der Herbizidresistenz bei Windhalm (*Apera spica-venti*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **447**, 551-552.
- IDENTXX, 2015: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Windhalm. Unveröffentlicht.
- RAFFEL, H., J. PETERSEN, J. GORNIK und D. KAUNDUN, 2010: Ungrasresistenz – was müssen wir tun um die Leistungsfähigkeit von Wirkstoffen zu erhalten? Julius-Kühn-Archiv **428**, 274.