

Neue Unkrautbekämpfungsstrategien im Mais unter Beachtung enger Maisfruchtfolgen, zunehmender ALS-Resistenzen bei typischen Unkräutern und wirkstoffspezifischer Applikationseinschränkungen

New weed control strategies in maize considering narrow crop rotations with maize, greater ALS-resistance in common weeds and application restrictions with regard to active substance

Katrin Ewert^{1*}, Gerhard Schröder², Ewa Meinschmidt³ und Elke Bergmann⁴

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Apoldaer Straße 4, D-07774 Dornburg-Camburg

²Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Steinplatz 1, D-15806 Zossen OT Wünsdorf

³Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, D-01683 Nossen

⁴Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, D-06406 Bernburg

*Korrespondierender Autor, katrin.ewert@tll.thueringen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.080

Zusammenfassung

Für die Unkrautbekämpfung im Mais steht eine Reihe von Herbiziden mit unterschiedlicher HRAC-Einstufung zur Verfügung. Infolge der engen Maisfruchtfolgen insbesondere durch die Maismonokulturen werden die sommeranuellen, an die Maiskultur angepassten und zunehmend neueren wärmeliebenden Unkrautarten gefördert. Andererseits zeigen die neuen Nachweise von Acetolactatsynthase (ALS)-Target-Site Resistenz bei *Echinochloa crus-galli* (Hühnerhirse) und *Amaranthus retroflexus* (Zurückgebogener Amarant) in Brandenburg, *Stellaria media* (Vogelmiere) in Sachsen sowie *Matricaria recutita* (Echte Kamille) und *Tripleurospermum perforatum* (Geruchlose Kamille) in Brandenburg und Thüringen, dass insbesondere der Einsatz von Sulfonylharnstoffen in Zukunft nur im Rahmen einer Anti-Resistenzstrategie erfolgen darf, um die Selektion resistenter Biotypen nicht weiter zu fördern. Weiterhin besteht zumindest in wassersensiblen Gebieten die Forderung, den Einsatz von bestimmten Wirkstoffen, wie z. B. Terbutylazin oder Bentazon zu minimieren bzw. zu substituieren. Die Bekämpfung von *E. crus-galli* und *Polygonum convolvulus* (Windknöterich) mit Sulfonylharnstoff- oder/und Terbutylazin-freien Herbiziden wird diskutiert.

Stichwörter: ALS-Target-Site-Resistenz, Herbizide, Sulfonylharnstoffe, Terbutylazin, Unkrautbekämpfung

Abstract

Many herbicides with different HRAC-groups are available for weed control in maize. Because of narrow maize crop rotation summer weeds and warmth loving weeds are encouraged. On the other hand the new confirmed cases of an ALS target site resistance in the weed species *Echinochloa crus-galli* and *Amaranthus retroflexus* in Brandenburg, *Stellaria media* in Saxony and *Matricaria recutita* and *Tripleurospermum perforatum* in Brandenburg and Thuringia, warn that in the future the sulfonylureas must be used only according to the management of herbicide resistance. In this way the selection of resistant weed biotypes will be prevented. Moreover in protected water areas it may be a requirement to reduce and to substitute the input of some active substances, for example terbutylazine and bentazon. The control of *E. crus-galli* and *P. convolvulus* with non-sulfonylurea or/and non-terbutylazine herbicides according to management of herbicide resistance will be discussed.

Keywords: ALS-target-site resistance, herbicides, sulfonylureas, terbutylazine, weed control

Einleitung

Im Jahr 2012 wurde in Deutschland auf mehr als 2,5 Millionen Hektar Mais angebaut. Gegenüber dem Jahr 2003 hat der Anbau im Jahr 2012 bei Silomais um 73 % und bei Körnermais um 13,5 % zugenommen (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013). Im Zeitraum von 2003 bis 2013 erhöhte sich der Anbauumfang in den Ländern Brandenburg um 63 %, in Sachsen-Anhalt um 60 %, in Sachsen um 25 % und in Thüringen um 33 %. Infolge der Förderung der erneuerbaren Energien wurde insbesondere der Silomais als bedeutender Rohstoff für die Biogasanlagen verstärkt angebaut. Aus ökonomischen Gründen hat sich der Maisanbau um große Milchviehanlagen und um die Biogasanlagen konzentriert. Da der Maisanbau prinzipiell in Monokultur möglich ist, wurde in

diesem Bereich der mehrmalige Anbau bis zur Monokultur bevorzugt. Um unkrautkonkurrenzbedingte Ertragsreduktionen weitgehend zu vermeiden, sollte die Herbizidapplikation im 3- bis 6-Blattstadium des Mais erfolgen (PICKERT, 2000). Um dieses Ziel zu erreichen, erfolgt im Regelfall in diesem Zeitraum eine Unkrautbekämpfungsmaßnahme. Wird diese immer mit den gleichen Wirkstoffen bzw. mit Wirkstoffen aus der gleichen Wirkstoffgruppe vorgenommen, ist die Selektion von resistenten Biotypen möglich. Bereits in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden Triazin-resistente Unkrautarten in Deutschland registriert (KEES, 1988).

Die Einführung der Sulfonylharnstoffe (erster Wirkstoff Rimsulfuron 1989) in der Unkrautbekämpfung im Mais ermöglichte erstmals den selektiven Herbizideinsatz im Nachauflauf gegen einjährige und ausdauernde Unkräuter und Ungräser (DROBNY *et al.*, 2012). Erste Unkrautpopulationen in Europa (Dänemark) mit der Resistenz gegen ALS-Hemmer konnten 1991 bei *S. media* nachgewiesen werden (DROBNY *et al.*, 2012). Der erste Biotyp von *A. retroflexus* mit einer Kreuzresistenz gegen Sulfonylharnstoffe und Imidazolinone wurde nach wiederholter Anwendung von Thifensulfuron-methyl und Imazethapyr in Sojabohnen in Italien registriert (SCARABEL *et al.*, 2007). In den letzten Jahren mehren sich die Nachweise insbesondere von Sulfonylharnstoff-resistenten Unkräutern und Ungräsern (HEAP, 2013). Über *S. media* und *Papaver rhoeas* (Klatschmohn) Populationen mit ALS-Target-Site-Resistenz gegen Sulfonylharnstoffe wurde in mehreren europäischen Ländern berichtet (MARSHALL *et al.*, 2010). In Deutschland trat im Jahr 2007 die erste Unkrautpopulation mit ALS-Target-Site-Resistenz bei *M. recutita* (*M. recutita* oder *M. chamomilla*) auf einzelnen Schlägen in Schleswig-Holstein auf (DROBNY *et al.*, 2008). Eine genauere Analyse des von Resistenz betroffenen Schlages ergab eine mehrjährige Anwendung der Sulfonylharnstoffe auf die Kamille. Ein deutschlandweites Monitoring zur ALS-Resistenz bei Kamille-Arten bestätigte resistente Populationen bei der Echten und Geruchlosen Kamille in mehreren Bundesländern (ULBER, 2012). Auf Maisflächen wurden im Jahr 2012 in Brandenburg Sulfonylharnstoff-resistente *E. crus-galli* und *A. retroflexus* nachgewiesen (HEAP, 2013). Bei der Ermittlung der Schlaghistorie konnte festgestellt werden, dass nach einem mehrjährigen Maisanbau verbunden mit dem wiederholten Einsatz von Wirkstoffen aus HRAC-Gruppe B die Selektion der resistenten Biotypen erfolgen konnte. Da es sich bei den Sulfonylharnstoff-resistenten dikotylen Unkrautarten und der Hühnerhirse um nachgewiesene ALS-Target-Site-Resistenzen handelt, kann mit gezieltem Wirkstoffgruppenwechsel der weiteren Selektion der resistenten Biotypen entgegen gewirkt werden.

Die Abbildung 1 zeigt den aktuellen Stand der nachgewiesenen Sulfonylharnstoff-resistenten dikotylen Unkräuter und der Hühnerhirse in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Bis auf *P. rhoeas* haben diese Arten eine wirtschaftliche Bedeutung im Maisanbau. Während die Veränderung der Aminosäure Prolin 197 nur eine Minderwirkung der Gruppe der Sulfonylharnstoffe zur Folge hat, führt die Veränderung von Tryptophan 574 zur Wirkungsminderung aller ALS-Hemmer (Sulfonylharnstoffe, Imidazolinone, Triazolpyrimidine, Sulfonylamino-Carbonyl-Triazolinone und Pyrimidinyl benzoate). Diese unterschiedlichen Resistenzmutationen sind insbesondere bei der Auswahl der Herbizide innerhalb der Fruchtfolge zu berücksichtigen.

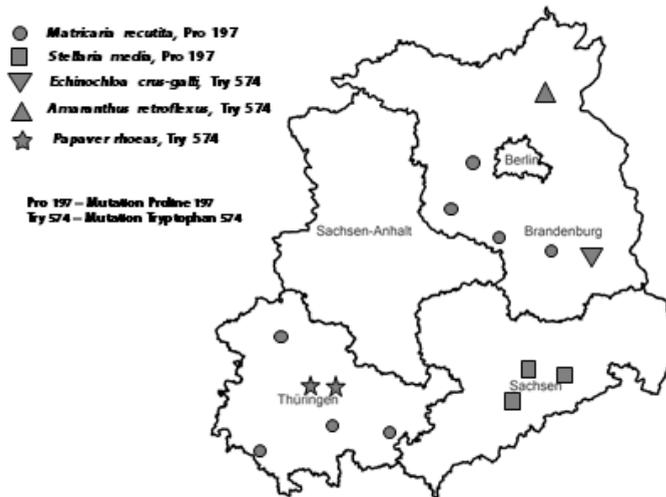


Abb. 1 Standorte mit nachgewiesenen ALS-Target-Site-Resistenzen bei den 5 Unkrautarten (online Quelle: www.weedscience.org; Angaben PSM-Industrie).

Fig. 1 Locations with confirmed cases of ALS-target-site resistance in five weed species (online source: www.weedscience.org; information of industry for plant protection products).

Des Weiteren sollen Wirkstoffe, die auch in Maisherbiziden vorkommen, wie z. B. Bentazon oder Terbutylazin, in besonders sensiblen Wasserschutzgebieten nicht oder nur in verminderten Umfang eingesetzt werden (KÜCHLER *et al.*, 2002; SCHULTE *et al.*, 2012). Regional wird freiwillig auf den Einsatz dieser Wirkstoffe im Mais verzichtet. Welche Möglichkeiten bei der Unkrautbekämpfung im Mais bei einer stärkeren Berücksichtigung der Resistenzvermeidung und dem Verzicht auf bestimmte Wirkstoffe gegenwärtig gegeben sind, sollte mit diesen Untersuchungen ermittelt werden.

Material und Methoden

Im Rahmen des gemeinsamen Versuchsprogramms der in einer Ringversuchsgruppe zusammengeschlossenen Bundesländer Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen wurden im Zeitraum von 2004 bis 2013 insgesamt 161 Versuche in Streulage als randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen zur effektiven Unkrautkontrolle im Mais durchgeführt. Dabei wurden die Versuchsglieder entweder auf die Kontrolle des Leitunkrautes *P. convolvulus* oder des Leitungsgrases *E. crus-galli* abgestimmt. Zur Auswertung konnten 83 Versuche mit dem Ziel der vorrangigen Bekämpfung von *P. convolvulus* bzw. 78 Versuche zur vorrangigen Bekämpfung von *E. crus-galli* herangezogen werden. Die Auswahl der Versuchsflächen erfolgte jeweils nach der Abundanz dieser beiden Unkrautarten. Die Parzellengrößen betragen 20 bis 25 m². Die Behandlungen erfolgten mit Parzellenspritzgeräten nach GEP-Status zu den für die herbizide Wirkung optimalen Bedingungen. Die Wasseraufwandmengen betragen 300 l/ha.

Um aus der Vielzahl der Herbizide die an das meist vorkommende Unkrautspektrum passenden Wirkstoffe auswählen zu können, sind Aussagen über die Stetigkeit der Unkrautarten und ihre Vergesellschaftung notwendig. Erfasst wurden alle Unkrautarten mit einem Deckungsgrad über 1 % zum Zeitpunkt der ersten Herbizidapplikation. Die ermittelte Rangfolge der Unkräuter basiert auf der jeweils berechneten Stetigkeit nach BRAUN-BLAUNQUET (1964). Diese gibt Auskunft über den prozentualen Anteil des Vorkommens einer Art bezogen auf die Gesamtheit der untersuchten Standorte. Die Wirkung auf Schadpflanzen wurde visuell als Reduzierung der Biomasse im

Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert. Bei der Bewertung der Unkrautwirkung wurden die Ergebnisse der Abschlussbonitur mindestens zwei Monate nach dem Applikationstermin herangezogen. Die Darstellung der Wirkungsgrade erfolgte mit Boxplots, die auf der Basis der Parzellenwerte erstellt wurden. Die in den Abbildungen angegebene Zahl entspricht der Anzahl der Versuche. In der Tabelle 1 sind die in den Versuchen eingesetzten Herbizide mit ihren Wirkstoffen und Wirkstoffanteilen entsprechend der HRAC-Einstufung aufgelistet.

Tab. 1 Eingesetzte Herbizide mit ihren Wirkstoffanteilen (g/l o. kg).

Tab. 1 Applied herbicides with shares active substance (g/l or kg).

HRAC	B						C		F			K				O				
Wirkstoffe	Fomasulfuron	Iodosulfuron	Nicosulfuron	Rimsulfuron	Prosulfuron	Thiencarba-	Tritosulfuron	Bromoxynil	Terbuthylazin	Mesotrione	Sulcotrione	Tembotrione	Topramezone	Dimethenamid	Flufenacet	Metosulam	Pendimethalin	Pethoxamid	S-Metolachlor	Dicamba
Herbizid	Wirkstoffgehalt g/l o. kg																			
Arrat							250									500				
Arigo	120 30								360											
B 235							235													
Bromotril 225 EC							225													
Buctril							225													
Calaris							330		70											
Callisto									100											
Cato	250																			
Cirontil	92 23															550				
ClioStar										50							160			
Dual Gold																	960			
Ekumis	30								75											
Gardo Gold							188									313				
Laudis										44										
Maister Power	32	1			10															
Mikado										300										
Milagro Forte	60																			
Peak			750																	
Spectrum Gold							250					280								
Spectrum Plus													213		250					
Successor T							188									300				
Terano													600		25					

Ergebnisse

Bekämpfung von *E. crus-galli* und vergesellschafteten Unkrautarten mit Sulfonylharnstoff- oder/und Terbuthylazin-freien Herbiziden

Die Bonitur der unbehandelten Kontrollen von Versuchen in Streulage ergab die in Abbildung 2 dargestellte Stetigkeit der mit *E. crus-galli* vergesellschafteten Unkrautarten. Auf den Flächen mit einem bekämpfungswürdigen Besatz von *E. crus-galli* wurden ebenfalls *C. album* mit der Stetigkeit von 88 % und *P. convolvulus* mit 64 % bonitiert. Auf 26 % der Standorte kam *A. retroflexus* vor.

Auf den Standorten mit bekämpfungswürdigem Auftreten von *E. crus-galli* erreichte diese Art höhere Besatzstärken als auf den Standorten, welche zur Bekämpfung von *P. convolvulus* ausgewählt wurden.

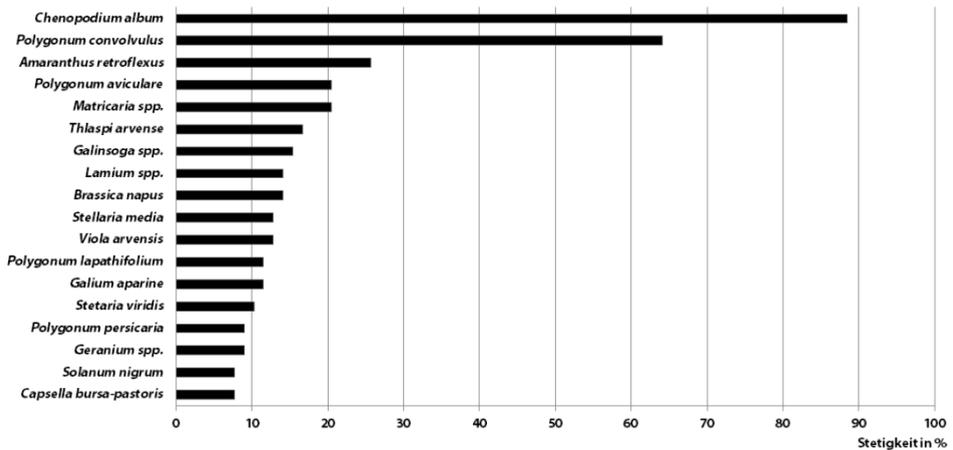


Abb. 2 Stetigkeit (%) der Unkrautarten auf 78 Versuchsflächen, die zur Bekämpfung von *E. crus-galli* ausgewählt wurden, 2004-2013.

Fig. 2 Frequency (%) of weeds on 78 trial sites which were chosen for control of *E. crus-galli*, 2004-2013.

Infolge der bereits vorhandenen ALS-Resistenzen bei einigen Unkrautarten und zur Vermeidung der weiteren Selektion von ALS-resistenten Biotypen wurden aus den Versuchen die Sulfonylharnstoff-freien Varianten bezüglich ihrer herbiziden Wirksamkeit gegenüber *E. crus-galli* bewertet.

Die Abbildung 3 zeigt, dass auch ohne Sulfonylharnstoffe *E. crus-galli* gut kontrolliert werden kann. In allen Herbizidkombinationen sind es die Wirkstoffe aus der Gruppe der Triketone (HRAC-Einstufung F), die in Verbindung mit anderen Wirkstoffgruppen, die überwiegend über den Boden wirken, diese Wirksamkeit gegenüber *E. crus-galli* realisieren. Der Vergleich der Tankmischungen Laudis (Tembotrione) + Gardo Gold (Terbuthylazin, S-Metolachlor) und Laudis (Tembotrione) + Butрил (Bromoxynil) zeigt, wie wichtig die Bodenwirkstoffe für die Residualwirkung sind.

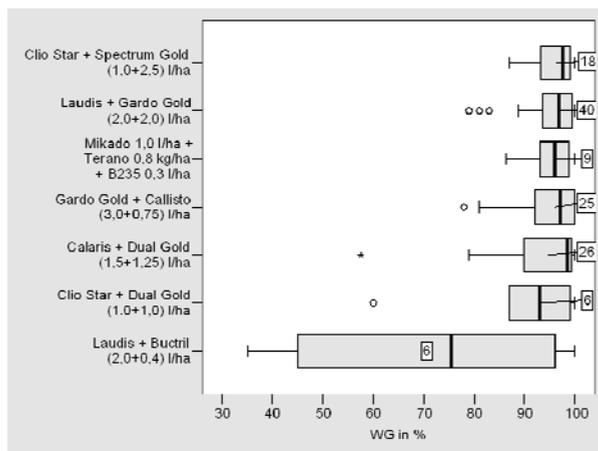


Abb. 3 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber *E. crus-galli*.

Fig. 3 Efficacy (%) of non-sulfonylurea herbicide treatments against *E. crus-galli*.

Da neben der Hühnerhirse auch weitere dikotyle Unkräuter bekämpft werden müssen, sind je nach der schlagspezifischen Verunkrautungssituation geeignete Varianten zu bevorzugen. Die Tabelle 2 zeigt die erzielten Wirkungsgrade der Herbizidbehandlungen gegenüber den am häufigsten mit *E. crus-galli* auftretenden dikotylen Unkrautarten. Die Tankmischung Clio Star (Topramezone + Dicamba) + Spectrum Gold (Dimethenamid-P + Terbutylazin) erreichte Wirkungsgrade über 95 % gegenüber den dargestellten Unkrautarten. Bei der Bekämpfung von *P. convolvulus* zeigten 4 von 7 geprüften Herbizidvarianten verminderte Wirkungsgrade unter 90 %. Während *C. album*, *A. retroflexus*, *P. aviculare* und *S. media* mit hohen Wirkungsgraden erfasst wurden, besteht speziell bei der Tankmischung Dual Gold (S-Metolachlor) + Clio Star (Topramezone + Dicamba) eine Wirkungsschwäche gegenüber den Kamille-Arten.

Tab. 2 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber den am häufigsten mit *E. crus-galli* vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten.

Tab. 2 Efficacy (%) of non-sulfonylurea herbicide treatments against broad-leaved weed occurrence with *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL n	POLCO n	AMARE n	POLAV n	MATSS n	STEME n						
Clio Star + Spectrum Gold	1,0+ 2,5	99	19	95	13	100	3	95	8	97	8	100	1
Laudis + Gardo Gold	2,0+ 2,0	98	46	87	27	99	8	99	14	92	13	92	3
Mikado + Terano + B235	1,0+ 0,8+ 0,3	97	15	84	9	100	2	90	8	99	5	98	2
Gardo Gold + Callisto	3,0+ 0,75	97	28	98	20	94	7	96	11	99	5	100	4
Calaris + Dual Gold	1,5+ 1,25	100	35	94	24	99	7	95	13	99	10	92	5
Dual Gold + Clio Star	1,0+ 1	100	4	74	4	100	2	98	1	57	1	95	1
Laudis + Buctril	2,0+ 0,4	100	4	63	4	97	2	100	1	94	1	99	1

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; POLCO = *Windknöterich*; AMARE = *Amaranthus retroflexus*; POLAV = *Polygonum aviculare*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

Da mittels spezifischer Umweltprogramme in einigen wassersensiblen Gebieten auf den Einsatz des Wirkstoffes Terbutylazin verzichtet wird, konnte aus dem Datenpool der Versuche die Herbizidleistung von Terbutylazin-freien Herbiziden bezüglich ihrer Wirkung gegenüber *E. crus-galli* ermittelt werden. Da Behandlungen ohne Terbutylazin in der landwirtschaftlichen Praxis bisher keine Bedeutung haben, lagen nur wenige Versuchsergebnisse vor. Aus der Abbildung 4 ist ersichtlich, dass mit den wenigen Varianten auch ohne Terbutylazin Wirkungsgrade im Median um die 95 % erreichbar sind.

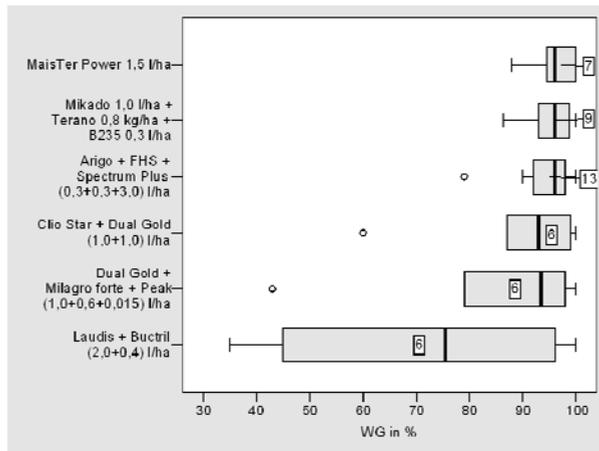


Abb. 4 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin-freien Herbizidvarianten gegenüber *E. crus-galli*.

Fig. 4 Efficacy (%) of non-terbutylazine herbicide treatments against *E. crus-galli*.

Mit den Terbutylazin-freien Herbizidbehandlungen kann insbesondere *P. convolvulus* nur mit MaisTer Power mit durchschnittlich 94 % Wirkung bekämpft werden. Alle anderen Varianten erreichten unzureichende Wirkungsgrade gegenüber dieser Art (Tab. 3).

Tab. 3 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin-freien Herbizidvarianten gegenüber den am häufigsten mit *E. crus-galli* vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten.

Tab. 3 Efficiency (%) of non-terbutylazine herbicide treatments against broad-leaved weed occurrence with *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL	n	POLCO	n	AMARE	n	POLAV	n	MATSS	n	STEME	n
MaisTer Power	1,5	98	13	94	19	67	3	99	7	98	10	100	1
Mikado + Terano + B235	1,0 + 0,8 + 0,3	97	15	84	9	100	2	90	8	99	5	98	2
Arigo + FHS + Spectrum Plus	0,3 + 0,3 + 3	99	13	81	9	100	3	86	4	96	4	100	1
Dual Gold + Clio Star	1,0 + 1	100	4	74	4	100	2	98	1	57	1	95	1
Dual Gold + Milagro forte + Peak	1,0 + 0,6 + 0,015	99	4	91	4	100	2	91	1	99	1	98	1
Laudis + Buctril	2,0 + 0,4	100	4	63	4	97	2	100	1	94	1	99	1

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; POLCO = *Windknöterich*; AMARE = *Amaranthus retroflexus*; POLAV = *Vogelknöterich*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

Durch den Verzicht auf den Wirkstoff Terbutylazin und auf die Sulfonylharnstoffe bei der Unkrautbekämpfung im Mais kann *E. crus-galli* nur mit zwei Herbizidvarianten noch mit einem Wirkungsgrad von mehr als 90 % (Median) bekämpft werden (Abb. 5). Dabei nimmt die Streuung der Wirkungsgrade insbesondere bei den Varianten mit geringerer Bodenwirkung deutlich zu.

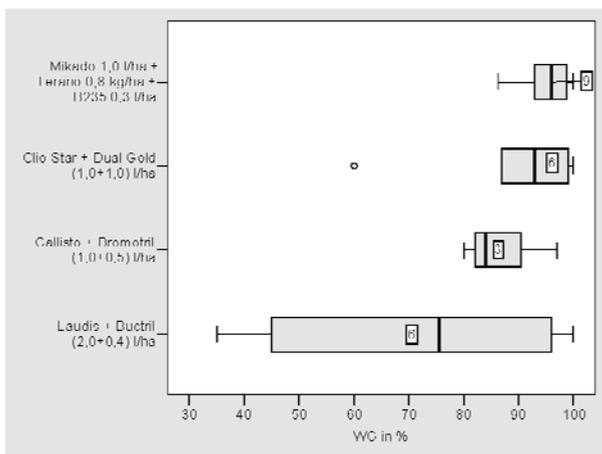


Abb. 5 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin- und Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber *E. crus-galli*.

Fig. 5 Efficacy (%) of non-terbutylazine and non-sulfonyleurea herbicide treatments against *E. crus-galli*.

Auch die Bekämpfung der dikotylen Unkrautarten ist in der herbiziden Breitenwirkung nicht mehr zufriedenstellend. Insbesondere kann *P. convolvulus* nur noch mit Wirkungsgraden unter 90 % nicht ausreichend kontrolliert werden (Tab. 4). *P. aviculare* war mit durchschnittlich 92 % Wirkung über alle dargestellten Varianten besser zu bekämpfen als *P. convolvulus*. Im Mittel über alle Behandlungen wurden eine *Chenopodium*-Wirkung von 99 % und eine *Amaranthus*-Wirkung von 98 % erreicht.

Tab. 4 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin- und Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber den mit *E. crus-galli* am häufigsten vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten.

Tab. 4 Efficacy (%) of non-terbutylazine herbicide treatments and non-sulfonyleurea herbicide treatments against broad-leaved weed occurrence with *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL n	POLCO n	AMARE n	POLAV n	MATSS n	STEME n						
Mikado + Terano + B235	1,0 + 0,8 + 0,3	97	15	84	9	100	2	90	8	99	5	98	2
Dual Gold + Clio Star	1,0 + 1	100	4	74	4	100	2	98	1	57	1	95	1
Callisto + Bromotril 225 EC	1,0 + 0,5	100	6	82	10	96	3	78	3	88	6	-	-
Laudis + Ductril	2,0 + 0,4	100	4	63	4	97	2	100	1	94	1	99	1

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; POLCO = *Windenknöterich*; AMARE = *Amaranthus retroflexus*; POLAV = *Polygonum aviculare*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

Bekämpfung von *P. convolvulus* und vergesellschafteten Unkrautarten mit Sulfonylharnstoff- oder/und Terbutylazin-freien Herbiziden

Die Abbildung 6 zeigt mit welchen Unkrautarten *P. convolvulus* am häufigsten vergesellschaftet war. Auf den Standorten mit bekämpfungswürdigem *P. convolvulus*-Besatz kamen mit 77 % der Stetigkeit *C. album* und mit 58 % *E. crus-galli* vor. *P. aviculare* trat auf 37 % der Flächen auf. An jedem dritten *P. convolvulus*-Standort wurden *Matricaria*-Arten registriert. Darauf folgten *Brassica napus* (Ausfallraps) und *Viola arvensis* (Ackerstiefmütterchen). Auf den *P. convolvulus*-Standorten erreichte der Windenknöterich höhere Besatzstärken als auf den Standorten, welche zur Bekämpfung von *E. crus-galli* ausgewählt wurden.

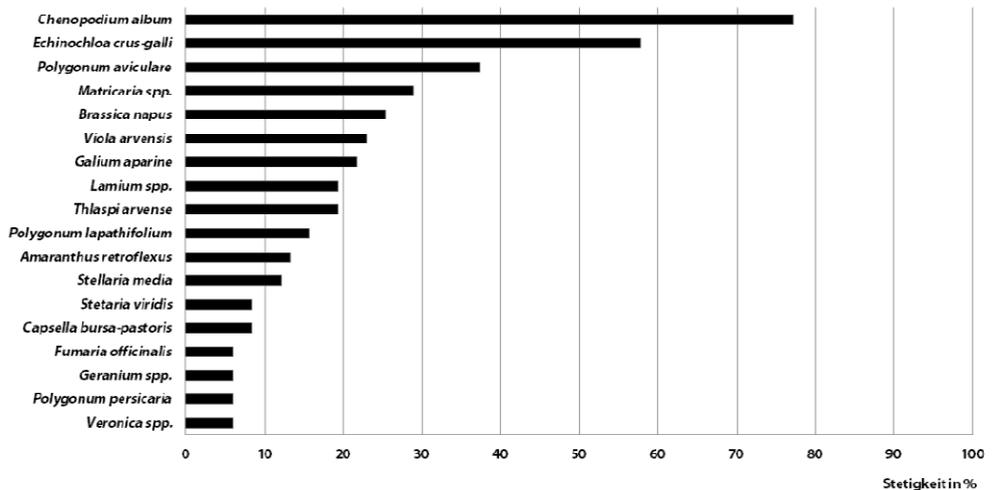


Abb. 6 Stetigkeit (%) der Unkrautarten auf 83 Versuchsflächen, die zur Bekämpfung von *P. convolvulus* ausgewählt wurden, 2004-2013.

Fig. 6 Frequency (%) of weeds on 83 trial sites, which were chosen for control of *P. convolvulus*, 2004-2013.

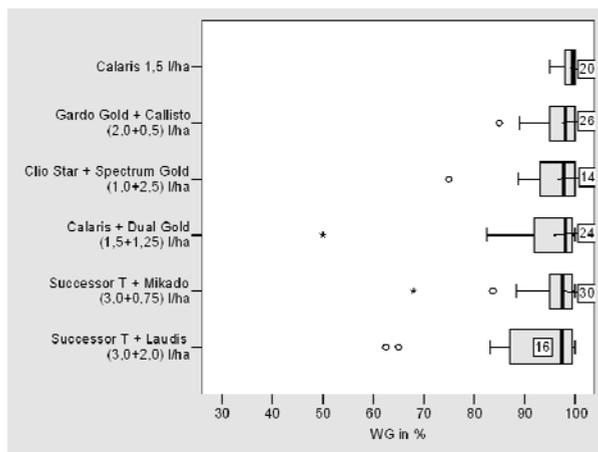


Abb. 7 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber *P. convolvulus*.

Fig. 7 Efficacy (%) of non-sulfonylurea herbicide treatments against *P. convolvulus*.

Die Wirksamkeit von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegen *P. convolvulus* zeigt die Abbildung 7. Bei allen 6 Herbizidvarianten lag der Median über 98 % Wirkung. Somit besteht die Möglichkeit, *P. convolvulus* auch ohne Sulfonylharnstoffe gut zu bekämpfen.

Bei den mit *P. convolvulus* vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten und bei *E. crus-galli* sind einige Wirkungsschwächen mit Bekämpfungserfolgen unter 90 % nach der Anwendung der Sulfonylharnstoff-freien Herbizide festzustellen (Tab. 5). Die höchsten Wirkungsgrade über 95 % wurden bei allen dargestellten dikotylen Unkräutern mit der Tankmischung Clio Star + Spectrum Gold erreicht. Im Mittel aller Sulfonylharnstoff-freien Behandlungen konnten *C. album* mit einem Wirkungsgrad von 98 % und *P. aviculare* mit 97 % sehr gut bekämpft werden.

Tab. 5 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Sulfonylharnstoff-freien Herbizidvarianten gegenüber den am häufigsten mit *P. convolvulus* vergesellschafteten dikotylen Unkräutern und gegenüber *E. crus-galli*.

Tab. 5 Efficacy (%) of non-sulfonylurea herbicide treatments against broad-leaved weeds occurrence with *P. convolvulus* and against *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL	n	ECHCG	n	POLAV	n	BRSNN	n	MATSS	n	STEME	n
Calaris	1,5	100	27	88	24	100	4	91	2	97	5	100	4
Gardo Gold + Callisto	3,0 + 0,75	100	14	96	20	99	4	99	2	85	5	100	4
Clio Star + Spectrum Gold	1,0 + 2,5	99	19	96	16	95	8	100	2	97	8	100	1
Calaris + Dual Gold	1,5 + 1,25	100	20	94	26	93	8	84	8	84	8	92	5
Successor T + Mikado	3,0 + 0,75	99	39	88	32	94	14	89	7	93	6	100	9
Laudis + Successor T	2,0 + 3	91	16	99	26	99	8	99	4	97	8	78	2

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; ECHCG = *Echinochloa crus galli*; POLAV = *Polygonum aviculare*; BRSNN = *Brassica napus*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

P. convolvulus kann ebenfalls gut mit den Terbutylazin-freien Behandlungen kontrolliert werden (Abb. 8). Diese enthalten zumindest als eine Herbizidkomponente Wirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe.

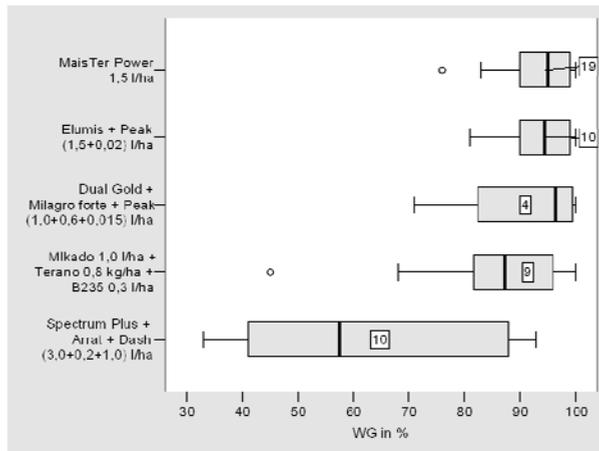


Abb. 8 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin-freien Herbiziden gegenüber *P. convolvulus*.

Fig. 8 Efficacy (%) of non-terbutylazine herbicide treatments against *P. convolvulus*.

Die dikotyle Begleitflora einschließlich *E. crus-galli* konnte nur mit MaisTer Power und mit der Tankmischung Mikado + Terano + B235 mit hohen Wirkungsgraden kontrolliert werden (Tab. 6). Bei der Tankmischung Spectrum Plus + Arrat + Dash wurden die meisten Wirkungsschwächen bonitiert.

Tab. 6 Erzielte Wirkungsgrade (%) von Terbutylazin-freien Herbizidvarianten gegenüber den am häufigsten mit *P. convolvulus* vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten und *E. crus-galli*.

Tab. 6 Efficacy (%) of non-terbutylazine herbicide treatments against broad-leaved weed occurrence with *P. convolvulus* and against *E. crus-galli*.

Herbizid-kombination	AWM l/kg/ha	CHEAL	n	ECHCG	n	POLAV	n	BRSN	n	MATSS	n	STEME	n
MaisTer Power	1,5	98	13	96	7	99	7	100	8	98,4	10	100	1
Elumis + Peak	1,5 + 0,02	100	6	89	3	94	3	99	8	100	6	-	-
Dual Gold + Milagro forte + Peak	1,0 + 0,6 + 0,015	99	4	85	6	91	1	100	2	99	1	98	1
Mikado + Terano + B235	1,0 + 0,8 + 0,3	97	15	94	9	90	8	97	4	100	5	98	2
Spectrum Plus + Arrat + Dash	3,0 + 0,2 + 1	94	6	59	3	55	3	98	6	85	6	98	1

AWM = Aufwandmenge; n = Anzahl der Ergebnisse; CHEAL = *Chenopodium album*; ECHCG = *Echinochloa crus galli*; POLAV = *Polygonum aviculare*; BRSN = *Brassica napus*; MATSS = *Matricaria* spp.; STEME = *Stellaria media*

Diskussion

Durch den verstärkten Maisanbau bis hin zur mehrjährigen Monokultur werden die typischen Maisunkräuter, wie *Polygonum* spp., *C. album*, *Matricaria* spp., *A. retroflexus*, *E. crus-galli*, *Solanum nigrum* (Schwarzer Nachtschatten) oder *Galinsoga* spp. (Franzosenkraut-Arten) gefördert (BULCKE *et al.*, 1994; MEHRTENS, 2005; SCHRÖDER *et al.*, 2007; DE MOL *et al.*, 2012). Somit sind Maisflächen nicht selten von einer Unkrautart dominiert z. B. von *E. crus-galli*, *P. convolvulus* oder *A. retroflexus*. Aus den Populationen mit diesen hohen Unkrautdichten können bei einseitigem Stoffeinsatz in wenigen Jahren resistente Biotypen heraus selektiert werden (SCHRÖDER, 2013). Infolge des mehrjährigen Herbizideinsatzes im Mais wurden in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts erste Triazin-resistente Unkrautarten nachgewiesen. KEES (1988) berichtet, dass nach 6-8 jährigem Daueranbau von Mais und kontinuierlicher Anwendung von Triazinen mit bestandsbildender Ausbreitung der Resistenz zu rechnen ist. Insbesondere bei den weitverbreiteten Maisunkräutern, wie *C. album*, *P. convolvulus*, *A. retroflexus* und *S. nigrum* wurden Triazin-resistente Biotypen örtlich registriert. Von den Wirkstoffen aus der Gruppe Triazine ist heute im Maisanbau in Deutschland nur noch Terbutylazin (HRAC-Einstufung C1) zugelassen. Insbesondere durch die synergistischen Effekte (SCHULTE *et al.*, 2002) speziell von Terbutylazin und Mesotrione, ergänzt durch den residual wirkenden Wirkstoff S-Metolachlor, bestimmte diese Wirkstoffkombination über viele Jahre die Unkrautbekämpfung auf Flächen mit *E. crus-galli* und weiteren dikotylen Leitunkräutern. Aufgrund des Versickerungsverhaltens des Wirkstoffes Terbutylazin und des produktionsbedingten geringen Wirkstoffanteils von Simazin im Terbutylazin wird in bestimmten wassersensiblen Gebieten dieser Wirkstoff zunehmend substituiert.

Mit der Zunahme des Sulfonylharnstoff-Einsatzes wurden in den letzten Jahren auch in Deutschland erste resistente dikotyle Unkrautarten gegenüber ALS-Hemmern nachgewiesen. Das Auftreten von ALS-resistenten dikotylen Unkräutern *M. recutita* (DROBNY *et al.*, 2008; ULBER *et al.*, 2012), *S. media* im Jahr 2011, *A. retroflexus*, *P. rhoeas* und *E. crus-galli* im Jahr 2012 (HEAP, 2013) muss zukünftig stärker bei der Nutzung von Anti-Resistenzstrategien berücksichtigt werden. Ein neuer Wirkmechanismus (HRAC-Gruppe F2) mit dem Wirkstoff Sulcotrione (Handelsname Mikado) wurde 1996 in Deutschland im Maisanbau eingeführt (DREXLER *et al.*, 1998). In Tankmischungen mit Sulfonylharnstoffen und ggf. mit Bromoxynil wurden hohe Wirkungsgrade gegen die typischen Maisunkräuter erreicht. Weitere Wirkstoffe aus der HRAC-Gruppe F2, wie Mesotrione, Tembotrione und Topramezone, sind wichtige Bausteine zur besseren Bekämpfung der Hirsearten. Aber auch bei diesen Wirkstoffen wurden weltweit die ersten resistenten Biotypen nachgewiesen. MICHEL *et al.* (2012) berichten von einer Amaranth-Art *Amaranthus tuberculatus* aus dem Bundesstaat Illinois USA, die sowohl gegen die 4-HPPD-Hemmer als auch gegen Triazine und Sulfonylharnstoffe resistent ist. Seit der weltweiten Einführung von Sulcotrione im Jahr 1991 aus der Gruppe der HPPD-Hemmer wurde kein neuer Wirkungsmechanismus mehr entdeckt und gegenwärtig ist auch keiner in Sicht (DROBNY *et al.*, 2012). Dadurch ist es notwendig, die Wirksamkeit der einzelnen Wirkstoffe bzw. Wirkstoffgruppen durch eine gezielte Umsetzung von Anti-Resistenzstrategien möglichst lange zu erhalten. Der Wirkstoff Dimethenamid-P aus der HRAC-Gruppe K3 in Kombination mit Terbutylazin als Sulfonylharnstoff-freie Formulierung in Tankmischung mit Topramezone hat sich zur Kontrolle von *E. crus-galli* und zahlreicher dikotyler Unkräuter bewährt (Abb. 3, Tab. 2).

Die geprüften Versuchsvarianten mit hoher Herbizidleistung gegen *E. crus-galli* bzw. *P. convolvulus* können als Baustein für ein Herbizidresistenz-Management genutzt werden. Für die Auswahl der jeweiligen Herbizidmaßnahme können die Wirkungsgrade gegen die mit *E. crus-galli* bzw. *P. convolvulus* vergesellschafteten Unkrautarten genutzt werden.

Die Tabelle 7 zeigt ein Beispiel, wie die Unkrautbekämpfung bei einer Mais-Monokultur auf *E. crus-galli*-Standorten mit oder ohne Terbutylazin-Einsatz gestaltet werden könnte.

Tab. 7 Beispiel für eine Unkrautbekämpfung in einer Mais-Monokultur auf einem Hühnerhirse-Standort mit alternierendem Sulfonylharnstoff-Einsatz.

Tab. 7 Example of weed control, substituting the input of sulfonylurea in maize-monoculture on sites with *E. crus-galli*.

	mit Terbutylazin	ohne Terbutylazin
1. Jahr	Clio Super + Spectrum Gold Dimethenamid (K3), Topramezone (F2), Terbutylazin (C1)	MaisTer Power Foramsulfuron (B), Iodosulfuron (B), Thiencarbazone-methyl (B)
2. Jahr	MaisTer Power Foramsulfuron (B), Iodosulfuron (B), Thiencarbazone-methyl (B)	Clio Super + Dual Gold Dimethenamid (K3), Topramezone (F2), S- Metolachlor (K3)
3. Jahr	Laudis + Successor T Tembotrione (F2), Terbutylazin (C1), Pethoxamid (K3)	Milagro Forte + Peak + Dual Gold Nicosulfuron (B), Prosulfuron (B), S- Metolachlor (K3)
4. Jahr	Arigo + FHS + Spectrum Pks Mesotrione (F2), Nicosulfuron (B), Rimsulfuron (B), Dimethenamid-P (K3), Pendimethalin (K1)	Laudis + Spectrum Pks Tembotrione (F2), Dimethenamid-P (K3), Pendimethalin (K1)

Auf den Standorten mit Dauermaisbau kann die Unkrautflora mit den Terbutylazin-haltigen Herbiziden oder Tankmischungen gut kontrolliert werden. Erfolgt der wiederholte Maisbau auf Flächen, auf denen der Terbutylazin-Einsatz nicht vorgesehen ist, müssen bei einzelnen Unkrautarten geringere Herbizidleistungen berücksichtigt werden. Das trifft auch auf *E. crus-galli* für die Tankmischung Milagro Forte + Peak + Dual Gold mit dem Wirkungsgrad von nur 85 % zu (Tab. 6). Unabhängig von der Einsatzmöglichkeit von Terbutylazin muss darauf geachtet werden, dass Sulfonylharnstoffe maximal jedes zweite Anbaujahr zum Einsatz kommen.

Dagegen kann bei der in Tabelle 8 dargestellten Fruchtfolge der Anteil von Sulfonylharnstoffen deutlich minimiert werden. Wenn auf einzelnen Standorten bereits Sulfonylharnstoff-resistente Unkrautbiotypen nachgewiesen wurden, kann z. B. mit der angegebenen Fruchtfolge in den ersten 4 Jahren auf den Einsatz der Sulfonylharnstoffe generell verzichtet werden. Die weitere Prüfung von Herbizidvarianten sollte noch besser auf die spezifischen Anforderungen einer gezielten Anti-Resistenzstrategie und auf die zumindest in wassersensiblen Gebieten erforderliche Substitution von Triazin-haltigen Herbizidwirkstoffen ausgerichtet werden. Des Weiteren breiten sich zunehmend wärmeliebende Unkrautarten, wie z. B. *Setaria glauca* (Graugrüne Borstenhirse) und *Setaria viridis* (Grüne Borstenhirse) auf Maisstandorten aus (MEHRTENS, 2005; MEINLSCHMIDT und EWERT, 2013). Da die *Setaria*-Arten gegenwärtig nur sicher mit Wirkstoffen aus der HRAC-Gruppe F2 gut bekämpft werden können, sind die Anti-Resistenzstrategien auch auf die Wirkstoffgruppe der Triketone anzupassen.

Tab. 8 Umsetzung der Anti-Resistenzstrategie auf einem Hühnerhirse-Standort mit Mais in der Fruchtfolge.

Tab. 8 Implementation of the management of herbicide resistance in crop rotation with maize on sites with *E. crus-galli*.

1. Jahr	Mais	Laudis + Gardo Gold Tembotrione (F2), Terbutylazin (C1), S- Metolachlor (K3)
2. Jahr	Winterroggen	Herold + Sumimax Diflufenican (F1), Flufenacet (K3)
3. Jahr	Winterraps	SF Butisan Gold; Effigo + Fox Metazachlor (K3), Quinmerac (O), Dimethenamid-P, Clopyralid (O), Picloram (O), Bifenox (E)
4. Jahr	Winterweizen	Bacara Forte Diflufenican (F1), Flurtamone (F1), Flufenacet (K3)
5. Jahr	Mais	MaisTer Power Foramsulfuron (B), Iodosulfuron (B), Thiencarbazone-methyl (B)

Literatur

- BRAUN-BLANQUET J., 1964: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer, Wien, New York, 865.
- BULCKE, R., P. DE BRUYNE, M. VAN HIMME und D. CALLENS, 1994: Evolution of weed flora and crop yield by repeated herbicide applications in maize monoculture. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XIV**, 437-445.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ, M. SCHULTE und B. GEROWITT, 2012: Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management – Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002-2004. Julius-Kühn-Archiv **434**, 655-662.
- DREXLER, G., F. STUKE und B. WAGEMANS, 1998: Ungewöhnliche Problemunkräuter im Maisanbau mit Mikado kontrollieren. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVI**, 565-571.
- DROBNY, H.G., M. SCHULTE und H.J. STREK, 2012: 25 Jahre Sulfonylharnstoff-Herbizide – ein paar Gramm verändern die Welt der chemischen Unkrautbekämpfung. Julius-Kühn-Archiv **434**, 21-33.
- DROBNY, H.G., J. PEREZ, M. FEIERLER, F.G. FELSENSTEIN, J.R. GERTZ, C. SCHLEICH-SAIDFAR und N. BALGHEIM, 2008: Auftreten und Charakterisierung von einzelnen Kamille-Populationen (*Matricaria recutita* L.) mit Resistenz gegen ALS-Hemmer in Schleswig Holstein, Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue **XXI**, 11-19.
- HEAP, I.M., 2013: International Survey of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org. Last Accessed Oktober 25, 2013.
- KEES, H., 1988: Die Entwicklung triazinresistenter Samenunkräuter in Bayern und Erfahrungen mit deren Bekämpfung. Gesunde Pflanzen **20**, 407-412.
- KÜCHLER, T., H. RESSELER, B. DÜFER und M. LEFÈVRE, 2002: Monitoring von Terbutylazin in Oberflächengewässern an abschwemmungsgefährdeten Maisfeldern zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abstandsaufgaben – Zusammenfassung und Ausblick. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt **390**, 136.
- MARSHALL, R., R. HULL und S.R. MOOS, 2010: Target site resistance to ALS inhibiting herbicides in *Papaver rhoeas* and *Stellaria media* biotypes from the UK. Weed Research **50**, 621-630.
- MEHRTENS, J., 2005: Räumliche und zeitliche Verteilung von Unkräutern in Mais. Dissertation Universität Hohenheim. Verlag Grauer, Beuren, Stuttgart, 211.
- MEINLSCHMIDT, E. und K. EWERT, 2013: Unkrautbekämpfung im Mais. Die beste Lösung für ihren Standort. Dlz Agrarmagazin **4**, 40-48.
- MICHEL, A., C.L. FORESMAN, N.D. POLGE, S.S. KAUNDUN und G.L. GOUPIL, 2012: *Amaranthus* develops resistance to HPPD inhibitors in seed corn production fields – another example of lack of diversity in the weed control program. Julius-Kühn-Archiv **434**, 103-109.
- PICKERT, J., 2000: Einfluss des Unkrautbekämpfungstermins auf Ertrag und Wirtschaftlichkeit des Silomaisanbaues. Zeitschrift Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVII**, 253-258.
- SCARABEL, L., S. VAROTTO und M. SATTIN, 2007: A European biotype of *Amaranthus retroflexus* cross-resistant to ALS inhibitors and response to alternative herbicides. Weed Research **47**, 527-533.
- SCHRÖDER, G., 2013: Neue Herbizidresistenzen bei Maisunkräutern in Brandenburg und Schlussfolgerungen für notwendige Anti-Resistenzstrategien.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, H. BÄR, E. BERGMANN und I. PITTORF, 2007: Der gezielte Einsatz von reduzierten Aufwandmengen herbizider Tankmischungen in Mais – ein Beitrag zur Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der landwirtschaftlichen Praxis. Gesunde Pflanzen **59**, 127-139.
- SCHULTE, M., W. T. RÜEGG und P.B. SUTTON, 2002: Synergie von Mesotrione, S-Metolachlor und Terbutylazin in der Bekämpfungsstrategie von Maisunkräutern. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVIII**, 785-793.
- SCHULTE, M., M. STEINHEUER, B. DÜFER und T. RÄDER, 2012: Was macht(e) Terbutylazin zum Basiswirkstoff der chemischen Unkrautbekämpfung im mitteleuropäischen Maisanbau? Eine Nutzenbetrachtung. Julius-Kühn-Archiv **434**, 321-328.
- STATISTISCHES BUNDESAMT 2013. <https://www.destatis.de/DE/Startseite.html>.
- ULBER, L., E. SVOBODA, B. JASER, F.G. FELSENSTEIN und P. ZWERGER, 2012: Deutschlandweites Monitoring zur ALS-Resistenz bei Kamille-Arten. Julius-Kühn-Archiv **438**, 318-319.