

4 3 4

Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband

25. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und -bekämpfung

13.-15. März 2012, Braunschweig

Proceedings

25th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany

Volume 2: pp. 417-736



Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)

Das Julius Kühn-Institut ist eine Bundesoberbehörde und ein Bundesforschungsinstitut. Es umfasst 15 Institute zuzüglich gemeinschaftlicher Einrichtungen an zukünftig sechs Standorten (Quedlinburg, Braunschweig, Kleinmachnow, Dossenheim, Siebeldingen, Dresden-Pillnitz) und eine Versuchsstation zur Kartoffelforschung in Groß Lüsewitz. Quedlinburg ist der Hauptsitz des Bundesforschungsinstituts.

Hauptaufgabe des JKI ist die Beratung der Bundesregierung bzw. des BMELV in allen Fragen mit Bezug zur Kulturpflanze. Die vielfältigen Aufgaben sind in wichtigen rechtlichen Regelwerken, wie dem Pflanzenschutzgesetz, dem Gentechnikgesetz, dem Chemikaliengesetz und hierzu erlassenen Rechtsverordnungen, niedergelegt und leiten sich im Übrigen aus dem Forschungsplan des BMELV ab. Die Zuständigkeit umfasst behördliche Aufgaben und die Forschung in den Bereichen Pflanzengenetik, Pflanzenbau, Pflanzenernährung und Bodenkunde sowie Pflanzenschutz und Pflanzengesundheit. Damit vernetzt das JKI alle wichtigen Ressortthemen um die Kulturpflanze – ob auf dem Feld, im Gewächshaus oder im urbanen Bereich – und entwickelt ganzheitliche Konzepte für den gesamten Pflanzenbau, für die Pflanzenproduktion bis hin zur Pflanzenpflege und -verwendung. Forschung und hoheitliche Aufgaben sind dabei eng miteinander verbunden.

Weiterführende Informationen über uns finden Sie auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts unter <http://www.jki.bund.de>. Spezielle Anfragen wird Ihnen unsere Pressestelle (pressestelle@jki.bund.de) gern beantworten.

Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for cultivated plants (JKI)

The Julius Kühn-Institut is both a research institution and a higher federal authority. It is structured into 15 institutes and several research service units on the sites of Quedlinburg, Braunschweig, Kleinmachnow, Siebeldingen, Dossenheim und Dresden-Pillnitz, complemented by an experimental station for potato research at Groß Lüsewitz. The head quarters are located in Quedlinburg.

The Institute's core activity is to advise the federal government and the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection in particular on all issues relating to cultivated plants. Its diverse tasks in this field are stipulated in important legal acts such as the Plant Protection Act, the Genetic Engineering Act and the Chemicals Act and in corresponding legal regulations, furthermore they arise from the new BMELV research plan.

The Institute's competence comprises both the functions of a federal authority and the research in the fields of plant genetics, agronomy, plant nutrition and soil science as well as plant protection and plant health. On this basis, the JKI networks all important departmental tasks relating to cultivated plants – whether grown in fields and forests, in the glasshouse or in an urban environment – and develops integrated concepts for plant cultivation as a whole, ranging from plant production to plant care and plant usage. Research and sovereign functions are closely intertwined.

More information is available on the website of the Julius Kühn-Institut under <http://www.jki.bund.de>. For more specific enquiries, please contact our public relations office (pressestelle@jki.bund.de).

**Gemeinschaft der Förderer und Freunde
des Julius Kühn-Instituts, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen e.V. (GFF)**

Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg,

Tel.: 03946 47-200, E-Mail: GFF@jki.bund.de

Internet: <http://www.jki.bund.de/> Bereich "Über das JKI"

4 3 4

Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband

25. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und - bekämpfung

13.-15. März 2012, Braunschweig

Proceedings

25th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany

Volume 2: pp. 417-736



Herausgeber:

Henning Nordmeyer und Lena Ulber
Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland
Messeweg 11-12
38104 Braunschweig

Programmkomitee:

Hans G. Drobny (DuPont de Nemours GmbH)
Klaus Gehring (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)
Bärbel Gerowitt (Universität Rostock)
Henning Nordmeyer (Julius Kühn-Institut)
Jan Petersen (Fachhochschule Bingen)
Otto Richter (Technische Universität Braunschweig)
Martin Schulte (Syngenta Agro GmbH)
Lena Ulber (Julius Kühn-Institut)
Peter Zwerger (Julius Kühn-Institut)

Veranstalter:

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Technische Universität Braunschweig
Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft

Foto Titel:

Kamille in Gerste
Arno Littmann, Julius Kühn-Institut

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
In der Deutschen Nationalbibliografie: detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISSN 1868-9892

ISBN 978-3-930037-84-1

DOI 10.5073/jka.2012.434.000

© Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Quedlinburg, 2012. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben bei auch nur auszugsweiser Verwertung vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Printed in Germany by Arno Brynda GmbH, Berlin.

Sektion 5: Neue Entwicklungen in der chemischen Unkrautkontrolle

Section 5: Recent developments in chemical weed control

Folgewirkung von Glyphosat-Behandlungen auf nachgebaute Kulturen

Effects of glyphosate application on succeeding crops

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen & Thomas Festner
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz,
Lange Point 10, D-85354 Freising-Weißenstephan
*Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.051

Zusammenfassung

Glyphosat ist ein wichtiges Herbizid für die Bekämpfung von Unkräutern und Ausfallkulturen in Anbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung in Mulch- oder Direktsaat. Für den zeitnahen Einsatz von Glyphosat vor der Einsaat einer Folgekultur muss die Wirkstoffaufnahme der nachfolgenden Kultur über den Boden ausgeschlossen werden können. In mehrjährigen Feldversuchen wurde in den Kulturen Mais und Winterweizen bestätigt, dass eine praxisübliche Behandlung mit einer Standarddosis von 1800 g/ha Glyphosat kein Risiko für die Entwicklung der Folgekultur darstellt. Während das Anbauverfahren (Mulch- oder Direktsaat) und die Art der Vorkultur die Ertragsleistung der Folgekultur beeinflussen konnte, hatte eine Anwendung von 1800 – 7200 g/ha Glyphosat in einem Abstand von 23 – 10 Tagen vor der Saat der Folgekultur, bzw. bis ein Tag nach der Saat im Direktsaatverfahren keinen Einfluss auf die Entwicklung und Ertragsleistung der nachgebaute Kultur.

Anhand dieser Ergebnisse kann die Unkrautbekämpfung mit Glyphosat als sicheres Verfahren für die Unterstützung von Anbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung bewertet werden.

Stichwörter: Bodenwirkung, Direktsaat, Herbizid, Kulturverträglichkeit, Mais, Mulchsaat, Unkrautbekämpfung, Winterweizen

Summary

Glyphosate is an important herbicide for the control of weeds and volunteer crops in production systems with conservation tillage or direct drilling. For a feasible timing of the glyphosate application it is essential that the following crops are not aggrieved by soil uptake of glyphosate. In field trials over several years it was confirmed that a usual application with 1800 g/ha glyphosate poses no risk for the growth of subsequent corn or winter wheat. Low yields could be caused by different soil management techniques such as conservation tillage or direct drilling and the preceding crops. Treatments with a dosage of 1800 – 7200 g/ha glyphosate with a time lag of 23 – 10 day before mulch-sowing, resp. 1 day after direct drilling had no influence on the growth and yield of following corn and winter wheat.

Based on the results of these field trials it can be confirmed that glyphosate is a safe herbicide for weed control in production systems with conservation tillage or direct drilling.

Keywords: Conservation tillage, corn, direct drilling, herbicide, maize, phytotoxicity, soil activity, weed control, winter wheat

1. Einleitung

Das Herbizid Glyphosat – allgemein unter dem Markennamen Roundup® bekannt – ist eine Entwicklung aus den 1970er Jahren, die bis dato eine sehr hohe Bedeutung besitzt. Neben der Anwendungsvorzüglichkeit im nicht-selektiven Bereich führte die erhebliche Ausdehnung des Anbaus von Roundup-Ready® Kulturen dazu, dass Glyphosat derzeit der weltweit am häufigsten eingesetzte Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff ist (DUKE und POWLES, 2009). Der hohe Einsatzumfang löste letztlich auch eine breite Debatte hinsichtlich der Wirkungen und Nebenwirkungen von Glyphosat aus. Abgesehen von der extrem kontrovers geführten Diskussion zur Toxizität des Wirkstoffs (WILLIAMS et al., 2000) wird aus anwendungstechnischer Sicht die Entwicklung von Glyphosat-resistenten Unkräutern als bedenkliches Risiko für die Nachhaltigkeit der Roundup-Ready-

Technologie diskutiert. Bisher wurden bereits 21 resistente Unkraut-Arten festgestellt (HEAP, 2011). Die Entwicklung eines Anti-Resistenz-Managements wird für den weiteren Anbau von Roundup-Ready-Kulturen als unverzichtbar betrachtet (BOERBOOM und OWEN, 2006), während die Umweltverträglichkeit der Herbizid-Resistenz-Technologie allgemein als relativ günstig eingestuft wird (CERDEIRA und DUKE, 2006). Im direkten Zusammenhang mit der Nutzung der Roundup-Ready-Technik wird der Einfluss von Glyphosat auf die Bodenmikrobiologie (KREMER und MEANS, 2009), auf die Entwicklung von Pflanzen-Pathogenen (SANYAL und SHRESTHA, 2008) und auf die Mikronährstoffversorgung von Kulturpflanzen (YAMADA et al., 2009; CAMBERATO et al., 2010) diskutiert. Dem potenziellen Effekt einer Glyphosat-Anwendung auf die Entwicklung von Nachbarkulturen und auf die Bodenfruchtbarkeit (TESFAMARIAN et al., 2009; BOTT et al., 2011) wird dagegen weniger intensiv betrachtet.

Nach aktuellen Erhebungen wird auf ca. 30 % der Ackerfläche in Deutschland eine Behandlung mit Glyphosat durchgeführt. Hierbei haben die Stoppelbehandlungen vor Winterraps und Wintergetreide, sowie die Vorsaats- bzw. Vorauflaufbehandlung zum Anbau von Zuckerrüben und Mais die relativ größte Bedeutung. Die Sikkation in Getreide und Raps hat dagegen, mit einer Behandlungsquote von rund 10 %, eine nur untergeordnete Relevanz. Die nicht-selektive Unkrautkontrolle mit Glyphosat ist ein wesentlicher Bestandteil für die Anwendung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren bis hin zu Direktsaatsystemen. Durchschnittliche Behandlungsquoten von 40 – 80 % können regional bis zu einer regelmäßigen Glyphosat-Behandlung in boden- und umweltschonenden Anbauverfahren bei Mais und Rüben ansteigen. Das Herbizid Glyphosat ist offensichtlich, wie auch im internationalen Vergleich, ein systemimmanenter Bestandteil dieser modernen Anbauverfahren (SCHMITZ et al., 2011).

Ziel dieser Arbeit ist die Kompatibilität der Glyphosat-Anwendung bei der Unkrautbekämpfung mit dem Anbau von konventionellen, d.h. nicht Glyphosat-resistenten Kulturen zu untersuchen. Die Aspekte Wartezeit zwischen der Glyphosat-Behandlung und dem Saattermin der Folgekultur, Bodenbearbeitungstechnik und Herbizid-Aufwand werden hierbei besonders berücksichtigt.

2. Material und Methoden

Die Selektivität bzw. Verträglichkeit von Glyphosat-Behandlungen für nachgebaute Kulturen wurde mit Freilandversuchen in den Jahren 2009 bis 2011 untersucht. Im Versuchsjahr 2009 wurde die Verträglichkeit für die Kultur Mais und in den beiden Folgejahren für die Kultur Winterweizen überprüft. Die Versuche wurden parallel für die Bodenbearbeitungsverfahren Mulchsaat und Direktsaat durchgeführt. Die Glyphosat-Behandlungen wurden auf einen geschlossenen Bestand mit den Ausfallkulturen Hafer (2009), bzw. Hafer und Winterraps (2010) und Wintergerste (2011) vorgenommen. Hierbei wurden die Ausfallkulturen Hafer und Winterraps durch eine vorherige Einsaat gezielt etabliert. Im Versuchsjahr 2011 handelte es sich dagegen um den Aufwuchs der Vorkultur Wintergerste. Die beiden Versuchsstandorte Pulling (2009) und Pettenbrunn (2010-2011) liegen in einer Entfernung von 5 km zu Stadt Freising im Tertiären Hügelland im nördlichen Oberbayern. Die Jahresmitteltemperatur beträgt am Standort 8,5 °C und der mittlere Jahresniederschlag liegt bei 818 mm (Daten der agrarmeteorologische Messstation Freising 1995 – 2010). Der Bodentyp ist an beiden Versuchsstandorten eine Parabraunerde mit der Bodenart sandiger Lehm und einem Humusgehalt von 2 – 3 %. Die Herbizidbehandlungen wurden mit einer elektrisch angetriebenen Parzellenspritze (Fabrikat: Schachtner) durchgeführt, die mit Airmix-Düsen (Typ: 110 03) ausgerüstet war. Bei einem Arbeitsdruck von 2,5 bar lag die Wasseraufwandmenge bei 300 l/ha. Zur Anwendung kam das Präparat Roundup UltraMax[®] (450 g/l Glufosinat, als Isopropylamin-Salz in SL-Formulierung), das Vergleichsherbizid Basta[®] (183 g/l Glufosinat, als Ammonium-Salz in SL-Formulierung) und eine thermische Unkrautbehandlung mit einem handgeführten Abflämmgerät (Typ: HOAF „Weedmaster 50“, 50 cm Arbeitsbreite, 45 kW Nennleistung mit 3,5 kg/h Propan-Gas). Die Maisaussaat erfolgte mit einem Parzellensäuger Typ Hege/Wintersteiger „Plotking PSP“ mit 3 m Arbeitsbreite und 75 cm Reihenabstand. Die Getreidesaat wurde mit einer Parzellensämaschine Typ Hege 80 vorgenommen, die bei einer Arbeitsbreite von 3 m mit Doppelscheibenscharen in einen Reihenabstand von 12,5 cm ausgestattet war.

Die Feldversuche wurden als voll randomisierte Blockanlagen mit einer Parzellengröße von 20 m² in dreifacher Wiederholung angelegt. Die Versuchsdurchführung und Datenerhebung erfolgte gemäß den EPP0-Richtlinien PP 1/50 (2), PP 1/93 (2) und PP 1/135 (2) für die Unkrautbekämpfung in Getreide, Mais und Bewertung der Phytotoxizität. Neben den visuellen Bonituren wurden die Ertragsparameter Trockenmasse bei Mais und Korntrag bei Getreide erhoben. Im Versuchsjahr 2010 wurde die visuelle Bonitur der Phytotoxizität mit einer Messung des Chlorophyllgehalts bzw. der Chlorophyllaktivität als Parameter für die Vitalität der Winterweizenpflanzen ergänzt. Hierfür wurde ein handgetragenes Fluoreszenz-Messgerät (Typ: „MiniVeg“ der Fa. Fritzmeier Umwelttechnik, Großhelfendorf) verwendet. Die durch einen gepulsten Anregungslaser induzierte Re-Absorption der Fluoreszenzstrahlung wurde im roten und nahinfraroten Wellenlängenbereich gemessen. Das Verhältnis der Chlorophyll-Fluoreszenz bei 690 nm und 730 nm gilt hierbei als Maß für den Chlorophyllgehalt und die photosynthetische Leistungsfähigkeit der Pflanzen, die durch Umweltfaktoren (z.B. Nährstoff- und Wasserversorgung) und Stressfaktoren, wie etwa einer Herbizidbelastung, beeinflusst werden kann (HUBER et al., 2002; SCHÄCHTL et al., 2003). Die Messung wurde mit drei Messreihen pro Parzelle durchgeführt, wobei je Messreihe ca. 1.000 – 1.500 Einzelmesswerte erhoben wurden. Die hiermit berechnete mittlere Ratio (Fluoreszenz 690 nm: Fluoreszenz 730 nm) wurde als Vegetationsindex für die Vitalität des Pflanzenbestandes verwendet.

Die erhobenen Ertragsdaten und Fluoreszenzmesswerte wurden mit Hilfe der Software SAS/STAT (SAS[®] 9.2 für Windows[®] PC, SAS Corporation, Cary, USA) unter Anwendung einer SNK-ANOVA ($\alpha = 0,05$) und einem Mittelwertvergleich mit der Prozedur PROC GLM ausgewertet.

3. Ergebnisse

Bei dem in 2009 in Mais (Sorte. Torres) durchgeführten Feldversuch wurden die Herbizidbehandlungen zu drei praxisüblichen Applikationsterminen durchgeführt: 23 Tage bzw. 11 Tage vor der Saat und zusätzlich bei Direktsaat 1 Tag nach der Saat. Die Glyphosat-Anwendung erfolgte in der maximal zulässigen Aufwandmenge von 4,0 l/ha Roundup UltraMax[®] (450 g/ha Glyphosat) und einer Doppeldosis mit 8,0 l/ha. Zum Vergleich wurde das nicht-selektive Kontaktherbizid Basta[®] in einer Dosis von 5,0 l/ha (183 g/ha Glufosinat) eingesetzt. Als weiterer Vergleich wurde eine thermische Unkrautbekämpfung vorgenommen. Aufgrund des Wiedergrüens der abgeflamten Flächen wurden die Anwendungen 23 bzw. 11 Tage vor der Saat an den nachfolgenden Behandlungsterminen wiederholt, so dass bei den Vorsaatterminen in der Summe drei bzw. zwei thermische Unkrautbehandlungen durchgeführt wurden. Nach dem Auflaufen (BBCH 12-13 Mais) wurde in allen Varianten eine ortsübliche Unkrautbehandlung mit der Tankmischung aus 3,0 l/ha Gardo Gold[®] (312,5 g/l S-Metolachlor + 187,5 g/l Terbutylazin) + 1,0 l/ha MaisTer Flüssig[®] (30,0 g/l Foramsulfuron + 0,9 g/l Iodosulfuron) vorgenommen.

Bei den durchgeführten visuellen Bonituren waren keinerlei Unverträglichkeitsreaktionen der Maispflanzen auf die verschiedenen chemischen und thermischen Unkrautbekämpfungen feststellbar. Um einen ggf. vorhandenen kurzfristigen Einfluss auf das Pflanzenwachstum feststellen zu können, wurde 50 Tage nach der Saat eine frühzeitige Teilbeerntung einer Mittelreihe der vier Pflanzenreihen einer Parzelle durchgeführt. Sowohl bei der frühzeitigen Teilbeerntung als auch bei der Ernte zur Siloreife des Maisbestandes traten keine signifikanten Unterschiede in der Ertragsleistung zwischen den unterschiedlichen Behandlungsmaßnahmen auf. Im Vergleich der Bodenbearbeitungs- bzw. Anbauverfahren konnte dagegen ein Ertragsvorteil des Direktsaatverfahrens gegenüber der Mulchsaatbestellung nachgewiesen werden (Tab. 1).

Tab. 1 Ertragsleistung von Mais in Abhängigkeit von unterschiedlichen Unkrautbekämpfungs- und Anbauverfahren.**Tab. 1** Corn yield depending on different kind of weed control and soil management.

VG	Behandlung	Aufwand		Termin	Ertrag 50 TnS		Ertrag 128 TnS	
					TM dt/ha	SNK	TM dt/ha	SNK
Mulchsaat								
1	Kontrolle	--		--	10,0	a	233,3	a
2	Glyphosat	1800	g/ha	23 TvS	10,1	a	233,6	a
3	Glyphosat	3600	g/ha	23 TvS	9,2	a	246,3	a
4	Glufosinat	915	g/ha	23 TvS	9,9	a	237,4	a
5	Glyphosat	1800	g/ha	11 TvS	9,6	a	233,5	a
6	Glyphosat	3600	g/ha	11 TvS	9,6	a	249,7	a
7	Glufosinat	915	g/ha	11 TvS	10,7	a	241,7	a
8	Thermisch	flächig	2x	23 / 11 TvS	8,8	a	235,8	a
9	Thermisch	flächig	2x	11 TvS	9,0	a	240,5	a
Direktsaat								
1	Kontrolle	--		--	10,9	a	243,5	a
2	Glyphosat	1800	g/ha	23 TvS	12,7	a	251,1	a
3	Glyphosat	3600	g/ha	23 TvS	12,7	a	271,2	a
4	Glufosinat	915	g/ha	23 TvS	11,0	a	250,3	a
5	Glyphosat	1800	g/ha	11 TvS	14,3	a	263,2	a
6	Glyphosat	3600	g/ha	11 TvS	13,4	a	254,0	a
7	Glufosinat	915	g/ha	11 TvS	10,6	a	242,6	a
8	Glyphosat	1800	g/ha	1 TnS	9,8	a	248,7	a
9	Glyphosat	3600	g/ha	1 TnS	9,8	a	246,1	a
10	Glufosinat	915	g/ha	1 TnS	13,3	a	267,6	a
11	Thermische	flächig	2x	23 / 11 TvS / 1 TnS	11,9	a	271,7	a
12	Thermische	flächig	2x	11 TvS / 1 TnS	11,6	a	269,8	a
13	Thermische	flächig	2x	1 TnS	12,7	a	266,6	a
Anbauverfahren								
2-9	Mulchsaat				9,7	b	239,1	b
2-13	Direktsaat				12,1	a	257,4	a

TvS = Tage vor der Saat, TnS = Tage nach der Saat; SNK = Student-Newman-Keuls-Test: Unterschiedliche Buchstaben = signifikanter Unterschied

TvS = Days bevor sowing, TnS = days after sowing; SNK = Student-Newman-Keuls-Test: different letters = significant difference

Bei dem Feldversuch 2009/2010 in Winterweizen (Sorte: Asano) wurde die Glyphosat-Behandlung in der doppelten und vierfachen Dosis der zugelassenen Standardaufwandmenge durchgeführt. Neben der parallelen Prüfung im Mulch- und im Direktsaatverfahren wurden die Behandlungen mit der Vorfrucht Raps und Hafer im Vergleich geprüft. In der Kontrollvariante (VG 1) der Direktsaat wurde der Vorfruchtaufwuchs vier Tage vor der Saat durch eine Tankmischung mit Fusilade Max[®] (107 g/ha Fluazifop-P) + Starane XL[®] (Fluroxypyr 100 + Florasulam 2,5 g/ha) behandelt. Auf der gesamten Versuchsfläche wurde im Frühjahr eine einheitliche Unkrautbekämpfung mit der Kombination aus Axial 50[®] (Pinoxaden 35 g/ha) + Starane XL[®] (Fluroxypyr 75 + Flurasulam 1,9 g/ha) + Biathlon[®] (Trisulfuron 50 g/ha) vorgenommen

Bei den durchgeführten visuellen Bonituren war kein negativer Einfluss auf die Kulturpflanzenentwicklung durch die unterschiedlichen Behandlungsvarianten feststellbar. Auch bei der Bestimmung der Vitalität des Winterweizenbestandes am 25.05.2010 mit dem MiniVeg-Messgerät waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen bei gleicher Bodenbearbeitung und Vorfrucht vorhanden (Tab. 2).

Tab. 2 Vitalität (V-ID) von Winterweizen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Unkrautbehandlungen, Bodenbearbeitungsverfahren und Ausfallkulturen bzw. Vorfrüchten.

Tab. 2 *Vitality (V-ID) of winter wheat depending on different weed control, soil management and volunteer crops preceding crops, respectively.*

VG	Behandlung	Aufwand (g/ha)	Termin	Vorfrucht			
				Hafer		Raps	
				V-ID	SNK	V-ID	SNK
Mulchsaat							
1	Kontrolle	--	--	0,962	a	0,937	a
2	Glyphosat	3600	20 TvS	0,950	a	0,933	a
3	Glyphosat	7200	20 TvS	0,959	a	0,943	a
4	Glufosinat	915	20 TvS	0,949	a	0,944	a
5	Glyphosat	3600	10 TvS	0,949	a	0,922	a
6	Glyphosat	7200	10 TvS	0,964	a	0,922	a
7	Glufosinat	915	10 TvS	0,959	a	0,935	a
8	Thermisch	--	20 / 10 TvS	0,962	a	0,930	a
Direktsaat							
1	Kontrolle	--	--	0,982	a	0,949	a
2	Glyphosat	3600	10 TvS	0,977	a	0,928	a
3	Glyphosat	7200	10 TvS	0,972	a	0,937	a
4	Glufosinat	915	10 TvS	0,965	a	0,932	a
5	Glyphosat	3600	1 TnS	0,982	a	0,924	a
6	Glyphosat	7200	1 TnS	0,969	a	0,916	a
7	Glufosinat	915	1 TnS	0,967	a	0,943	a
8	Thermisch	--	10 TvS / 1 TnS	0,951	a	0,949	a

TvS = Tage vor der Saat, TnS = Tage nach der Saat; V-ID = Vitalitätsindex = Fluoreszenz-Verhältnis F690 ηm/F730 ηm; SNK = Student-Newman-Keuls-Test: Unterschiedliche Buchstaben = signifikanter Unterschied

TvS = Days bevor sowing, TnS = days after sowing; V-ID = Vitality index = fluorescence ratio F690 ηm/F730 ηm; SNK = Student-Newman-Keuls-Test: different letters = significant difference

Eine Analyse der Ko-Faktoren Bodenbearbeitungsverfahren und Vorfrucht ergab dagegen einen signifikant höheren Chlorophyll-Gehalt des Weizenbestandes bei der Vorfrucht Hafer gegenüber der Vorfrucht Raps (Tab. 3).

Tab. 3 Vitalität (V-ID) von Winterweizen in Abhängigkeit von Ausfallkultur bzw. Vorfrucht und Bodenbearbeitung.

Tab. 3 *Vitality (V-ID) of winter wheat depending on volunteer crops resp. preceding crops and soil management.*

Ko-Faktor Kombination	V-ID	rel. %	SNK
	Vorfrucht und Bodenbearbeitung		
Hafer, Direktsaat	0,971	100	a
Hafer, Mulchsaat	0,957	99	b
Raps, Direktsaat	0,935	96	c
Raps, Mulchsaat	0,933	96	c
Vorfrucht			
Hafer	0,964	100	a
Raps	0,934	97	b
Bodenbearbeitung			
Direktsaat	0,953	100	a
Mulchsaat	0,945	99	a

V-ID = Vitalitätsindex = Fluoreszenz-Verhältnis F690 ηm/F730 ηm; SNK = Student-Newman-Keuls-Test: Unterschiedliche Buchstaben = signifikanter Unterschied

V-ID = Vitality index = fluorescence ratio F690 ηm/F730 ηm; SNK = Student-Newman-Keuls-Test: different letters = significant difference

Zur Abreife wurde die Ährendichte des Winterweizenbestandes am 09.07.2010 ausgezählt. Hierbei trat eine signifikant niedrigere Ährendichte bei der thermischen Unkrautbekämpfung im Direktsaatverfahren gegenüber allen chemischen Unkrautbekämpfungsvarianten, unabhängig von der Vorfrucht, auf. In der Mulchsaat konnte eine niedrigere Ährendichte des Weizenbestandes nur bei der Vorfrucht Raps für die thermische Behandlung im Vergleich zu einer frühen Behandlung mit Basta und einer späten Behandlung mit Roundup UltraMax in der vierfachen Dosierung abgesichert werden. Die Erhebung des Kornertrages zeigte lediglich für die thermische Unkrautbekämpfung in der Ko-Faktorenkombination Direktsaat und Raps-Vorfrucht einen signifikant niedrigeren Ertrag gegenüber einer Nachsaatbehandlung mit Roundup UltraMax in der doppelten Dosierung (Tab. 4). Die niedrigere Ährendichte und der niedrigere Kornertrag der thermischen Unkrautbekämpfung kann auf eine im Vergleich zu den Herbizidbehandlungen weniger effiziente Wirkung auf den Pflanzenbestand der Vorfrucht zurückgeführt werden.

Tab. 4 Bestandesdichte (Ähren/m²) und Kornertrag (dt/ha) von Winterweizen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Unkrautbehandlungen, Bodenbearbeitungsverfahren und Ausfall- bzw. Vorkulturen.

Tab. 4 *Crop density (spikes/m²) and yield (dt/ha) of winter wheat depending on different weed control, volunteer crops resp. preceding crops and soil management.*

VG	Behandlung	Aufwand (g/ha)	Termin	Vorfrucht							
				Hafer				Raps			
				Ä/m ²	SNK	E (dt/ha)	SNK	Ä/m ²	SNK	E (dt/ha)	SNK
Mulchsaat											
1	Kontrolle	--	--	408	a	37,9	a	423	ab	36,0	a
2	Glyphosate	3600	20 TvS	415	a	38,3	a	433	ab	37,3	a
3	Glyphosate	7200	20 TvS	432	a	39,7	a	435	ab	35,4	a
4	Glufosinat	915	20 TvS	425	a	42,8	a	445	a	39,3	a
5	Glyphosate	3600	10 TvS	423	a	37,6	a	429	ab	36,0	a
6	Glyphosate	7200	10 TvS	427	a	38,2	a	446	a	35,9	a
7	Glufosinat	915	10 TvS	432	a	39,7	a	425	ab	39,3	a
8	Themisch	--	20 / 10 TvS	411	a	40,2	a	391	b	35,9	a
Direktsaat											
1	Kontrolle	--	--	430	a	44,7	a	461,3	a	38,3	ab
2	Glyphosate	3600	10 TvS	466	a	44,8	a	446,7	a	35,4	ab
3	Glyphosate	7200	10 TvS	463	a	44,5	a	488,7	a	40,7	ab
4	Glufosinat	915	10 TvS	483	a	48,8	a	474	a	38,3	ab
5	Glyphosate	3600	1 TnS	440	a	43,1	a	463,3	a	41,7	a
6	Glyphosate	7200	1 TnS	431	a	43,5	a	458,7	a	37,6	ab
7	Glufosinat	915	1 TnS	446	a	45,9	a	461,3	a	38,8	ab
8	Themisch	--	10 TvS / 1 TnS	347	b	40,5	a	388,7	b	31,8	b

TvS = Tage vor der Saat, TnS = Tage nach der Saat, Ä = Ähren, E = Ertrag; SNK = Student-Newman-Keuls-Test:

Unterschiedliche Buchstaben = signifikanter Unterschied

TvS = Days bevor sowing, TnS = days after sowing; Ä = spikes, E = yield, SNK = Student-Newman-Keuls-Test: different letters = significant difference

Bei der separaten Auswertung der Ko-Faktoren Vorfrucht bzw. Ausfallkultur und Bodenbearbeitungsverfahren konnten auch für die Ährendichte und den Kornertrag signifikante Unterschiede einzelner Faktorkombinationen nachgewiesen werden. Die Vorfrucht Hafer führte im Vergleich zur Vorfrucht Raps zu einem höheren Kornertrag bei Winterweizen. Das Direktsaatverfahren war dem Mulchsaatverfahren sowohl bei der Ährendichte, als auch bei Kornertrag signifikant überlegen. Hieraus resultierte ein Ertragsvorteil der Faktorkombination Direktsaat und Hafer-Vorfrucht (Tab. 5).

Tab. 5 Bestandesdichte (Ähren/m²) und Ertrag (dt/ha) von Winterweizen in Abhängigkeit von Ausfallkultur bzw. Vorfrucht und Bodenbearbeitung.

Tab. 5 Crop density (spikes/m²) and yield (dt/ha) of winter wheat depending on volunteer crops resp. preceding crops and soil management.

Ko-Faktor Kombination	Ä/m ²	SNK	E (dt/ha)	SNK
	Vorfrucht und Bodenbearbeitung			
Hafer, Direktsaat	438	ab	44,5	a
Hafer, Mulchsaat	422	b	39,3	b
Raps, Direktsaat	455	a	37,8	b
Raps, Mulchsaat	428	b	36,9	b
Vorfrucht				
Hafer	430	a	41,9	a
Raps	442	a	37,3	b
Bodenbearbeitung				
Direktsaat	447	a	41,1	a
Mulchsaat	425	b	38,1	b

Ä = Ähren, E = Ertrag; SNK = Student-Newman-Keuls-Test: Unterschiedliche Buchstaben = signifikanter Unterschied
 Ä = spikes, E = yield; SNK = Student-Newman-Keuls-Test: different letters = significant difference

In der Anbauperiode 2010/11 wurde ein Feldversuch mit Winterweizen im Mulchsaatverfahren angelegt. Der vorhandene, geschlossene Ausfallgetreidebestand der Vorkultur Wintergerste wurde im Abstand von 20 bzw. 10 Tagen vor der Bodenbearbeitung zur Saatbettbereitung mit Roundup UltraMax in einer Aufwandmenge von 8, 16 und 32 l/ha, mit Basta in einer Aufwandmenge von 5 und 10 l/ha und mit einer thermischen Unkrautbekämpfung behandelt. Die visuellen Bonituren zeigten keine erkennbare Schädigung der Pflanzenentwicklung des Winterweizens gegenüber den verschiedenen Behandlungsvarianten. Aufgrund extremer Witterungsbedingungen mit einer starken Nässeperiode im Frühjahr gefolgt von einer lang anhaltenden Trockenperiode im Sommer konnten die Ertragserhebungen nicht ausgewertet werden.

4. Diskussion

Die sehr rasche Inaktivierung von Glyphosat im Boden wurde bereits frühzeitig nachgewiesen (SPRANKLE et al., 1975). Während die eigentliche Detoxifikation durch den mikrobiellen Abbau im Boden bestimmt wird, hängt die Bioverfügbarkeit für Nicht-Zielpflanzen wesentlich von der Adsorption an Bodenkompimente ab (TORSTENSSON und AAMISEPP, 1977). Ausschlaggebende Faktoren sind hierbei die Verfügbarkeit von Aluminium- und Eisenoxiden, während die Quantität und Qualität der Humusfraktion nur eine sehr geringe Bedeutung besitzt (GIMSING und BORGGARD, 2002; PICCOLO et al., 1996). Allgemein wird davon ausgegangen, dass Glyphosat aufgrund des spezifischen, dynamischen Prozesses aus Adsorption und mikrobiellen Abbau unter normalen Bedingungen und in unterschiedlichen Böden für Nicht-Zielpflanzen kein Schädigungspotenzial durch Aufnahme über den Boden besitzt (ALEXA et al., 2009).

Die in dieser Arbeit vorgestellten Feldversuchsergebnisse bestätigen die Annahme, dass sich eine Vorbehandlung mit Glyphosat gegen vorhandene Unkräuter und Ausfallkulturen nicht negativ auf die im Mulch- oder Direktsaatverfahren nachgebauten Kulturen Mais und Winterweizen auswirkt. Weder für den zeitlichen Abstand zwischen der Glyphosat-Behandlung und dem Saattermin der Folgekultur, als auch für die Aufwandmenge der Glyphosat-Applikation konnte ein direkter Einfluss auf die Entwicklung und Ertragsleistung der Folgekultur nachgewiesen werden. Dagegen konnten Zusammenhänge zwischen der Form der Bodenbearbeitung und der Art der Vorkultur auf die Entwicklung und Ertragsbildung der nachgebauten Folgekultur festgestellt werden.

Ein allgemeines Risiko für die Entwicklung von nachgebauten Kulturen in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand einer vorausgehenden Glyphosat-Behandlung zum Saattermin der Folgekultur und der Intensität des hiermit zu bekämpfenden Unkraut- oder Ausfallkulturaufwuchses (BOTT et al., 2009; TESFAMARIAM et al., 2009) konnte nicht bestätigt werden.

Literatur

- ALEXA, E., M. BRAGEA, R. SUMALAN, A. LAZUREANU, M. NEGREA UND S. IANCU, 2009: DYNAMIC OF GLYPHOSAT MINERALIZATION IN DIFFERENT SOIL TYPES. ROMANIAN AGRICULTURAL RESEARCH **26**, 57-60.
- ANDREA, M.M., T.B. PERES, L.C. LUCHINI, S. BAZARIN, S. PAPINI, M.B. MATALLO UND V.L. TEDESCHI SAVOY, 2003: INFLUENCE OF REPEATED APPLICATIONS OF GLYPHOSAT ON ITS PERSISTENCE AND SOIL BIOACTIVITY. PESQ. AGROPEC. BRAS., BRASILIA **38**, 1329-1335.
- BOERBOO, C. UND M. OWEN, 2006: FACTS ABOUT GLYPHOSAT-RESISTANT WEEDS. PURDUE EXTENSION INFORMATION GWC-1, [HTTP://WWW.GLYPHOSATWEEDSCROPS.ORG](http://www.GLYPHOSATWEEDSCROPS.ORG)
- BOTT, S., U. LEBENDER, Y. DUCK-JOONG, T. TESFAMARIAM, V. RÖMHELD UND G. NEUMANN, 2009: EVIDENCE FOR GLYPHOSAT DAMAGE OF WINTER WHEAT DEPENDING ON WAITING-TIMES AFTER PRE-CROP GLYPHOSAT APPLICATION AND DENSITY OF DESICCATED WEED PLANTS UNDER FIELD AND EXPERIMENTAL CONDITIONS. THE PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM XVI. [HTTP://ESCHOLARSHIP.ORG/UC/ITEM/25V599PR](http://escholarship.org/uc/item/25v599pr)
- CAMBERATO, J., K. WISE UND B. JOHNSON, 2010: GLYPHOSAT – MANGANESE INTERACTIONS AND IMPACTS ON CROP PRODUCTION: THE CONTROVERSY. PURDUE EXTENSION INFO 1-888, [HTTP://WWW.BTNY.PURDUE.EDU/WEEDSCIENCE/](http://www.BTNY.PURDUE.EDU/WEEDSCIENCE/)
- CERDEIRA, A.L. UND S.O. DUKE, 2006: THE CURRENT STATUS AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF GLYPHOSAT-RESISTANT CROPS: A REVIEW. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL QUALITY **35**, 1633-1658.
- DUKE O. UND B. POWLES, 2009: GLYPHOSAT-RESISTANT CROPS AND WEEDS – NOW AND IN THE FUTURE. AG BIO FORUM **12**, 346-357.
- GIMSING, A.L. UND O.K. BORGGAARD, 2002: EFFECT OF PHOSPHATE ON THE ADSORPTION OF GLYPHOSAT ON SOILS, CLAY MINERALS AND OXIDES. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ANALYTICAL CHEMISTRY **82**, 545-552.
- HEAP, I.M., 2011: THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.COM](http://www.WEEDSCIENCE.COM)
- HUBER, G., J. SCHÄCHTL, F. X. MAIDL, E. STICKSEL, J. SCHULZ, P. HASCHBERGER UND U. FRITZMEIER, 2002: GRUNDLAGEN DER BESTANDSBONITUR MITTELS DER LASERINDUZIERTEN CHLOROPHYLLFLUORESCENZ. MITTEILUNGEN DER GESELLSCHAFT FÜR PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN **14**, 104-105.
- YAMADA, T., R.J. KREMER, P.R. DE CAMARGO E. CASTRO UND B.W. WOOD, 2009: GLYPHOSAT INTERACTIONS WITH PHYSIOLOGY, NUTRITION AND DISEASES OF PLANTS: THREAT TO AGRICULTURAL SUSTAINABILITY? EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY **31**, 111-113.
- KREMER, R.J. UND N.E. MEANS, 2009: GLYPHOSAT AND GLYPHOSAT-RESISTANT CROP INTERACTIONS WITH RHIZOSPHERE MICROORGANISMS. EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY **31**, 153-161.
- PICCOLO, A., G. CELANO UND P. CONTE, 1996: ADSORPTION OF GLYPHOSAT BY HUMIC SUBSTANCES. JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY **44**, 2442-2446.
- SANYAL D. UND A. SHRESTHA, 2008: DIRECT EFFECT OF HERBICIDES ON PLANT PATHOGENS AND DISEASE DEVELOPMENT IN VARIOUS CROPPING SYSTEMS. WEED SCIENCE **56**, 155-160.
- SCHÄCHTL, J., F.-X. MAIDL, G. HUBER UND E. STICKSEL, 2003: THE POTENTIAL FOR LASER-INDUCED CHLOROPHYLL FLUORESCENCE MEASUREMENTS IN WHEAT. PRECISION AGRICULTURE, 609-614.
- SCHMITZ, M., M.N. AHMED, H. GARVERT UND J.W. HESSE, 2011: AGRO-ECONOMIC ANALYSIS OF THE USE OF GLYPHOSAT IN GERMANY. AGRIBUSINESS-FORSCHUNG Nr. 28, INSTITUT FÜR AGRIBUSINESS, GIEßEN, GERMANY.
- SPRANKLE, P., W.F. MEGGITT UND D. PENNER, 1975: RAPID INACTIVATION OF GLYPHOSAT IN THE SOIL. WEED SCIENCE **23**, 224-228.
- TESFAMARIAM, T., S. BOTT, I. CAKMAK, V. RÖMHELD UND G. NEUMANN, 2009: GLYPHOSAT IN THE RHIZOSPHERE – ROLE OF WAITING TIMES AND DIFFERENT GLYPHOSAT BINDING FORMS IN SOILS FOR PHYTOTOXICITY TO NON-TARGET PLANTS. EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY **31**, 126-132.
- TORSTENSSON, N.T.L. UND A. AAMISEPP, 1977: DETOXIFICATION OF GLYPHOSAT IN SOIL. WEED RESEARCH **17**, 209-212.
- WILLIAMS, G.M., R. KROES UND I.C. MUNRO, 2000: SAFETY EVALUATION AND RISK ASSESSMENT OF THE HERBICIDE ROUNDUP AND ITS ACTIVE INGREDIENT, GLYPHOSAT, FOR HUMANS. REGULATORY TOXICOLOGY AND PHARMACOLOGY **31**, 117-165.

Low dose responses of different glyphosate formulations on plants

Subletale Wirkungen verschiedener Glyphosat-Formulierungen auf Pflanzen

Regina G. Belz* & Claudia Leberle

University of Hohenheim, Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics,
Department of Agroecology, Garbenstraße 13, 70593 Stuttgart, Germany

*Corresponding author, regina.belz@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.052

Summary

Although glyphosate clearly has real and potential commercial uses as a growth regulator at low doses, its main commercial significance has been as an herbicide. An important prerequisite for low dose applications gaining significance is a high efficiency and reliability of effects. This, however, seems to be a major constraint, especially regarding the approach of increasing yield by glyphosate hormesis. Glyphosate is marketed in various formulations, but potential disparities in low dose responses are unknown. Therefore, this study evaluated the expression and reliability of hormetic effects of different glyphosate formulations as a possible means for glyphosate hormesis to be more reliably and sustainably be achieved. Four commercial products sold in Germany (Glyphos, Glyphos Supreme, Glyphos Dakar, and Roundup Speed) were evaluated in germination assays with *Lactuca sativa*. Experiments were conducted as dose-response assays and evaluated for root length and shikimic acid production. In bioassays with exposure of seeds, none of the commercial formulations induced hormesis, while all formulations showed a similar hormetic effect if methanol pre-treated seedlings were exposed. Evaluating the reliability of the observed hormetic effect showed that the effect could only be reproduced in one out of three repeats independent of the formulation used. Hence, results indicated that in controlled bioassays, the induction of hormesis by glyphosate is independent of the formulation used and requires a preconditioning, although this does not ensure a hormetic effect. Therefore, the reliability of glyphosate hormesis may remain a major constraint for potential practical uses of this phenomenon despite new formulations claiming a safer response.

Keywords: Crop enhancement, dose-response, growth stimulation, hormesis, pelargonic acid

Zusammenfassung

Obwohl Glyphosat in niedrigen Dosierungen ein wachstumsregulatorisches Potenzial besitzt, ist seine kommerzielle Bedeutung weitgehend auf den Einsatz als Herbizid beschränkt. Eine wichtige Voraussetzung zur Nutzung des Potenzials niedriger Dosierungen, ist eine hohe Effizienz und Zuverlässigkeit der Wirkung. Dies scheint jedoch vor allem hinsichtlich der Nutzung hormetischer Effekte von Glyphosat zur Ertragssteigerung problematisch zu sein. Da Glyphosat in verschiedensten Formulierungen vertrieben wird und bisher keine Erkenntnisse über mögliche Unterschiede in der hormetischen Wirkung vorliegen, wurden in dieser Studie die Expression und die Zuverlässigkeit hormetischer Effekte verschiedener Glyphosat-Formulierungen untersucht. Vier kommerzielle Produkte, die in Deutschland vertrieben werden, wurden dazu in Keimtests mit *Lactuca sativa* geprüft (Glyphos, Glyphos Supreme, Glyphos Dakar und Roundup Speed). Die Versuche wurden als Dosis-Wirkungsversuche durchgeführt und Auswirkungen auf die Wurzellänge und den Shikimisäuregehalt wurden erhoben. In Versuchen mit Samen ergab sich bei allen Produkten regelmäßig keine Hormesis, während bei Behandlung von in Methanol vorgekeimten Keimlingen alle Produkte einen ähnlichen Hormesiseffekt zeigten. Dieser konnte allerdings unabhängig vom eingesetzten Produkt nur in einem von drei Versuchen reproduziert werden. Dies zeigt, dass Glyphosat Hormesis im Biotest mit *L. sativa* weitgehend unabhängig vom eingesetzten Produkt und nur nach Präkonditionierung auftritt, obgleich letzteres keine Garantie für das Auftreten von Hormesis gewährt. Die Zuverlässigkeit der hormetischen Wirkung wird deshalb trotz vielfältiger Glyphosat-Formulierungen vermutlich auch in Zukunft ein wichtiger Hemmfaktor für einen möglichen praktischen Einsatz dieses Phänomens bleiben.

Stichwörter: Dosis-Wirkungsbeziehung, Hormesis, Kulturpflanzenförderung, Pelargonsäure, Wachstumsstimulation

1. Introduction

Glyphosate is currently the most important active ingredient for controlling weeds. However, glyphosate shows useful effects in addition to killing weeds at high doses. Several non-lethal, low

dose applications offer real and potential commercial uses of glyphosate as a growth regulator such as the commercially significant application to increase the levels of extractable sugar from sugar cane or the use of growth stimulating, hormetic doses to increase crop yield (CEDERGREEN et al., 2009; DALLEY and RICHARD, 2010; EL-SHAHAWY and SHARARA, 2011ab). Although hormetic approaches are not yet developed for practical usage, greenhouse and field studies showed that glyphosate applied at a range of 2-143 g a.i./ha can increase yield by 12-175 % in several plant species and response parameters (VELINI et al., 2008; CEDERGREEN et al., 2009; EL-SHAHAWY and SHARARA, 2011ab). An important prerequisite to transfer this effect into harvestable yield under field conditions is a high efficiency and reliability of the hormetic phenomenon. This, however, seems to be one of the major constraints of hormetic approaches including glyphosate hormesis (APPLEBY, 1998; CEDERGREEN, 2008; BELZ et al., 2011). Although glyphosate is marketed in several formulations, studies on glyphosate hormesis mainly used Roundup or Glyphonova (e.g. VELINI et al., 2008; CEDERGREEN et al., 2009; EL-SHAHAWY and SHARARA, 2011ab) and potential impacts of alternative formulations on low dose responses are widely unknown, especially when it comes down to new formulations free of toxic polyethoxylated tallow amine (POEA). As BRANTS and GRAHAM (2000) observed a tendency towards an improved hormetic performance of specific glyphosate formulations, alternative formulations may offer a means for glyphosate hormesis to be more reliably and sustainably be achieved. Therefore, this study evaluated the expression and reliability of hormetic effects of Glyphos with those of three claimed faster and safer formulations: the POEA-free formulation Glyphos Supreme, the newly developed, granulated formulation Glyphos Dakar and the mixed formulation Roundup Speed (pelargonic acid & glyphosate). In addition, the influence of pelargonic acid on the dose-response performance of glyphosate was further evaluated in joint action experiments and by analysis of shikimic acid levels in treated plants. A possible link between the occurrence and expression of hormesis and the primary mode of inhibitory action of glyphosate was evaluated.

2. Materials and methods

2.1 Herbicide bioassay

Herbicides. All herbicides used were commercially available formulated products (Tab. 1) that were mixed in demineralized water to give various test solutions for bioassay application.

Bioassay design. The efficacy of the different herbicides was evaluated in dose-response germination assays using *Lactuca sativa* var. *capitata* cv. Maikönig (lettuce) as test species. Assays were conducted in 6-well cell culture plates (Cellstar, greiner bio-one). Each well was prepared with one layer of filter paper (MN 615) and six lettuce seeds before 1.5 ml of herbicide solution was added per well. Controls were performed with demineralized water only. Plates were sealed with nescofilm and cultivated in a randomized design in a growth cabinet with a day/night cycle of 12/12 h, 24/18 °C and 50-70/0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ photosynthetic active radiation (PAR). After five days, root length (≥ 1 mm) of five seedlings per well was measured using Fitomed (CASTELLANO et al., 2001). Alterations from this standard design conditions (experiment 1 and 4) comprised a three day pregermination of lettuce seedlings in 4 % methanol (experiment 2 and 3).

Tab. 1 Specifications of herbicides used.

Tab. 1 Spezifikationen der verwendeten Herbizide.

Trade name (abbreviation)	Active ingredient	Source
Glyphos (GLY)	360 g a.i./l glyphosate (HRAC G)	Stähler Deutschland
Glyphos Supreme (SUP)	450 g a.i./l glyphosate (HRAC G)	Stähler Deutschland
Glyphos Dakar (DAK)	680 g a.i./kg glyphosate (HRAC G)	Stähler Deutschland
Roundup Speed (SPEED)	7.20 g a.i./l glyphosate (HRAC G) 9.55 g a.i./l pelargonic acid (HRAC Z)	Scotts Celaflor
Bayer Garten 3 Stunden Bio-Unkrautfrei (PA)	186.7 g a.i./l pelargonic acid (HRAC Z)	Bayer CropScience

a.i. = active ingredient; HRAC = herbicide resistance action committee

Dose-response design. Experiments 1-3 were conducted with 13 doses per herbicide ranging from 0-148 $\mu\text{mol a.i./ml}$ for Glyphos formulations and from 0-88 $\mu\text{mol glyphosate/ml}$ for SPEED. Treatment solutions were prepared in demineralized water from stock solutions of technical herbicides. Each treatment was triplicated and there were six common controls.

Joint action design. The quality of interaction between pelargonic acid (PA) and glyphosate was evaluated under standard design conditions based on the multiplicative survival model (MSM) as reference (STREIBIG and JENSEN, 2000) (experiment 4). Therefore, the dose-response curves for PA applied alone or in mixture with glyphosate were designed. There were 13 doses of PA ranging from 0-63 $\mu\text{mol a.i./ml}$ applied alone or in mixture with a Glyphos formulation at the ED_{50} (dose causing 50 % inhibition; here 0.130 $\mu\text{mol a.i./ml}$). Each treatment was triplicated and there were six common controls performed with water only (PA) or with 0.130 $\mu\text{mol/ml}$ glyphosate (mixture).

2.2 Shikimic acid extraction and analysis

The shikimic acid concentration in lettuce roots at the end of the bioassays was evaluated for selected dose-response relationships according to VELINI et al. (2008) and ZELAYA et al. (2011). The fresh root biomass (root length ≥ 5 mm) of all replicates per treatment was pooled in a 2 ml tube and stored at -20 °C until analyzed. The frozen root material was ground using a Retsch MM 400 (2 min at 30 Hz; 5 mm steel ball) before 1 ml/100 mg fresh root biomass of 0.25 M hydrochloric acid was added. The extracts were shaken (2 min at 30 Hz) and then centrifuged at 13000 rpm for 15 min. The supernatant (50 μl) reacted with 0.5 ml of a 1 % solution of periodic acid. After 3 h at room temperature, 0.5 ml of 1 M sodium hydroxide and 0.3 ml of 0.1 M glycine were added per sample, samples were centrifuged again and absorbance measured at 380 nm. The shikimic acid concentration was quantified using external standard solutions (0-20 $\mu\text{mol/ml}$; Sigma-Aldrich) that were similarly prepared.

2.3 Statistical analysis

Dose-response analysis. Root length (y) as a function of herbicide dose (x) was modeled by logistic regression models using IBM SPSS[®] Statistics. Response variance was stabilized at each dose by using the inverse standard deviation of replicates as weight. A monotonic model (STREIBIG, 1988) was used when no significant hormesis was observed (Dunnett-test, $\alpha = 0.05$) or its expansion in case of significant hormesis (Eq. 1) (CEDERGREEN et al., 2005).

$$\text{(Eq. 1)} \quad y = [d + f \cdot \exp(-1/x^a)] / (1 + \exp\{b \cdot [\ln(x/e)]\})$$

where d denotes the mean response of the untreated control, and f denotes the theoretical upper bound of the hormetic effect ($f > 0$ as a necessary condition for the presence of hormesis). Parameters a , b , and e have no straightforward biological meaning. The values of a were freely estimated or fixed between 0.06 and 0.16 according to the smallest residual sum of squares (CEDERGREEN et al., 2005). The dose giving maximum response (M), the corresponding response (y_{max}), and the dose where the hormetic effect is no longer present (limited dose for stimulation (LDS)) were estimated by reparameterizations of equation 1. Dose-response curves of different treatments were finally compared by horizontal assessment (F -test, $\alpha = 0.05$).

Joint action analysis. The response P to mixtures satisfying MSM was predicted based on the response P_a observed for the dose $z_a = 0.130 \mu\text{mol/ml}$ glyphosate and the modeled dose responses P_b for PA applied alone at various doses z_b after STREIBIG and JENSEN (2000) (responses expressed as percent of untreated control):

$$\text{(Eq. 2)} \quad P = (100 - P_a) + (100 - P_b) - [(100 - P_a) \cdot (100 - P_b)] / 100.$$

The dose-response curves modeled from predicted dose responses P were subsequently compared to the observed dose-response curves for the binary mixtures (F -test, $\alpha = 0.05$).

3. Results

3.1 Experiment 1: Standard bioassay conditions

Under standard conditions with exposure of seeds, none of the four tested glyphosate formulations significantly increased the root growth of *L. sativa* at low doses (Fig. 1). Comparing the resulting dose-response relations showed no significant differences between the three Glyphos formulations with an average ED_{50} of $0.165 \pm 0.026 \mu\text{mol a.i./ml}$ (Tab. 2). Thus, compared to GLY, 20 % less product of SUP is needed to achieve the same effect and 47 % less product of DAK due to a higher product content of glyphosate. In contrast to the Glyphos formulations, the dose-response curve for the effect of SPEED was significantly steeper and 4-fold less pronounced than the average response to Glyphos formulations at ED_{10} , while 2-fold more pronounced at ED_{50} and 12-fold at ED_{90} (Fig. 2, Tab. 2). Thus, the efficacy of glyphosate in mixture with PA seems to be impaired at lower effective doses, while the mixture seems advantageous at high response levels.

Tab. 2 Effective doses (ED in μmol glyphosate/ml) for the effect of glyphosate formulations on root length of *Lactuca sativa* in a germination assay (5 days after treatment; mean \pm standard error).

Tab. 2 Effektive Dosierungen (ED in μmol Glyphosat/ml) der Wirkung von Glyphosat Formulierungen auf das Wurzelwachstum von *Lactuca sativa* im Keimtest (5 Tage nach Applikation; Mittelwert \pm Standardfehler).

Response level	Glyphos	Glyphos Supreme	Glyphos Dakar	Roundup Speed
ED_{10}	0.00074 ± 0.00054	0.00036 ± 0.00023	0.00041 ± 0.00029	0.00157 ± 0.00103
ED_{50}	0.143 ± 0.048	0.140 ± 0.036	0.215 ± 0.062	0.091 ± 0.022
ED_{90}	27.7 ± 17.6	54.6 ± 29.7	111.3 ± 60.7	5.3 ± 3.4

3.2 Experiment 2: Methanol pretreatment

Exposing methanol pre-treated seedlings showed significant growth stimulation at low doses for all tested formulations (Fig. 1). The statistical analysis showed no significant differences between the biphasic dose-response relations of the three Glyphos formulations. The maximum stimulation was on average induced by $M = 0.019 \pm 0.006 \text{ nmol a.i./ml}$ (0.007 % of ED_{50}) and accounted for 134 %. Hormesis was observed up to a dose of $LDS = 3.5 \pm 1.9 \text{ nmol a.i./ml}$ (1.3 % of ED_{50}) confirming a broad hormetic dose range with a 186-fold distance between M and LDS doses. Due to a significantly steeper slope, the biphasic curve for SPEED showed a narrower hormetic dose range characterized by a 39-fold distance between M ($0.070 \pm 0.034 \text{ nmol glyphosate/ml}$; 0.09 % of ED_{50}) and LDS ($2.7 \pm 1.9 \text{ nmol glyphosate/ml}$; 3.6 % of ED_{50}). However, with a maximum stimulation of 137 %, SPEED was as effective in inducing hormesis as the Glyphos formulations. Although not significant, the observed y_{max} values increased from 133-141 % in the order $\text{GLY} < \text{SUP} < \text{SPEED} < \text{DAK}$.

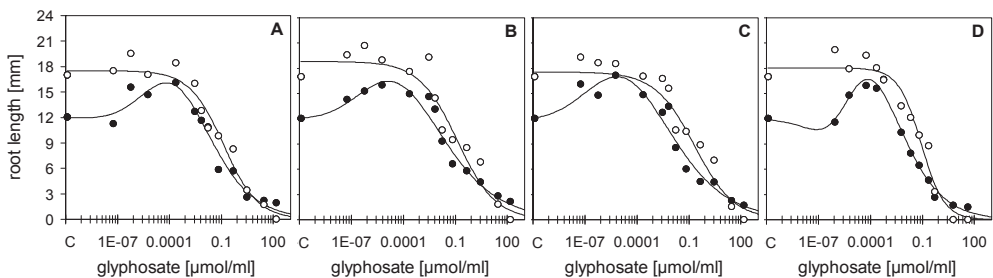


Fig. 1 Effect of Glyphos (A), Glyphos Supreme (B), Glyphos Dakar (C) and Roundup Speed (D) on root growth of *Lactuca sativa* with (●) or without (○) pregermination in methanol; C = control.

Abb. 1 Wirkung von Glyphos (A), Glyphos Supreme (B), Glyphos Dakar (C) und Roundup Speed (D) auf das Wurzelwachstum von *Lactuca sativa* mit (●) oder ohne (○) Vorkeimen in Methanol; C = Kontrolle.

3.3 Experiment 3: Reliability of glyphosate hormesis

Investigating the reliability of the hormetic response under the condition of a methanol preconditioning showed that the hormetic effect could only be reproduced in one out of three repeats whereas the occurrence of hormesis did not differ between the tested formulations (Fig. 2).

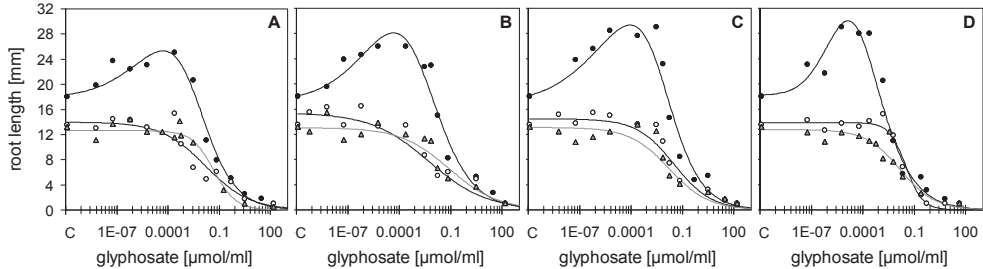


Fig. 2 Reliability of the hormetic effect of Glyphos (A), Glyphos Supreme (B), Glyphos Dakar (C) and Roundup Speed (D) on root growth of *Lactuca sativa* (pregerminated in methanol) in three independent experiments; (●) replicate 1, (○) rep. 2, (△) rep. 3; C = control.

Abb. 2 Zuverlässigkeit der hormetischen Wirkung von Glyphos (A), Glyphos Supreme (B), Glyphos Dakar (C) und Roundup Speed (D) auf das Wurzelwachstum von *Lactuca sativa* (vorgekeimt in Methanol) in drei unabhängigen Experimenten; (●) Replikation 1, (○) Rep. 2, (△) Rep. 3; C = Kontrolle.

Although rep. 1 revealed a more pronounced hormetic effect and a higher inhibitory efficacy for all formulations tested as exp. 2 (Fig. 1), the previously observed trends could be confirmed. The maximum stimulation increased from 141-171 % in the order GLY < SUP < SPEED < DAK, whereas the dose-response curves of the three Glyphos formulations were again not significantly different. Due to a steeper progression of the Glyphos curves in rep. 1 along with lower ED_{50} but higher M - and LDS -doses, the hormetic dose range ($0-9.2 \pm 2.9$ nmol a.i./ml) was narrower with a 108-fold distance between M and LDS . In contrast, all effective doses decreased in case of SPEED, while the M/LDS distance increased to 70-fold. Thus, SPEED was again most efficient and displayed a narrower hormetic dose range. Despite these similarities in overall trends, most quantitative features of the biphasic dose-response curves showed significant differences to those of exp. 2. The same was, however, true comparing the non-hormetic dose-response relations of rep. 2 and 3 (Fig. 2).

3.4 Experiment 4: Joint action analysis

Investigating the quality of interaction between the two mixture partners in SPEED, PA and glyphosate, revealed significant differences from the estimated MSM responses for all combinations tested. The observed dose-response curves for the three mixtures were significantly steeper and right shifted, indicating a primarily antagonistic response over a wide range of response levels. The antagonism was most pronounced at low response levels with an average 2.7 ± 0.0 -fold difference between the additive and the observed response at ED_{10} decreasing to 1.8 ± 0.3 -fold at ED_{50} and 1.2 ± 0.4 -fold at ED_{90} . Thus, at high response levels, the joint action shifted towards additivism and in case of GLY and DAK even slightly towards synergism (Fig. 3a-c). Equal joint action claims were observed testing fixed-ratio mixtures where, however, individual ratios showed a significant hormetic effect although both mixture partners applied alone did not induce hormesis (Fig. 3d). This indicated that the quality of interaction for the binary mixture of PA and glyphosate may depend mainly on the effective dose level, while the mixture ratio seems to bias the occurrence of hormesis.

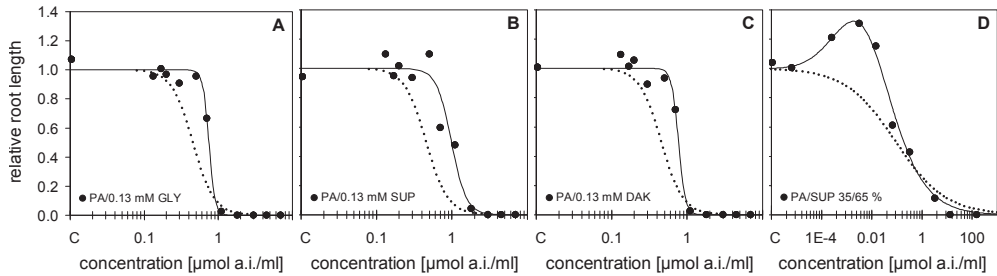


Fig. 3 Observed (—) and predicted additive response (....) of *Lactuca sativa* to mixtures (●) of pelargonic acid (PA) with (A) Glyphos (GLY), (B/D) Glyphs Supreme (SUP), or (C) Glyphs Dakar (DAK); C = control.

Abb. 3 Beobachtet (—) und erwartete additive Wirkung (....) von Mischungen (●) aus Pelargonsäure (PA) und (A) Glyphos (GLY), (B/D) Glyphs Supreme (SUP) oder (C) Glyphs Dakar (DAK) auf *Lactuca sativa*; C = Kontrolle.

3.5 Shikimic acid analysis

The production of shikimic acid in glyphosate exposed roots of *L. sativa* was investigated using plants from dose-response relations showing either no hormesis (SUP), a maximum growth stimulation of 141 % (GLY), or 171 % (DAK) (Fig. 4a). In each case, the level of shikimic acid increased with increasing glyphosate doses, however, the increase appeared to be unrelated to the observed growth stimulation. The increase was most pronounced in absence of hormesis with a maximum of 500 % of control and observable already at doses below ED_1 . The increase was least pronounced with a maximum of 182 % at the most distinct incidence of hormesis and observable just at doses above LDS (Fig. 4b). Thus, significant hormesis in root growth also occurred without a measurable inhibition of the primary inhibitory target at hormetic doses.

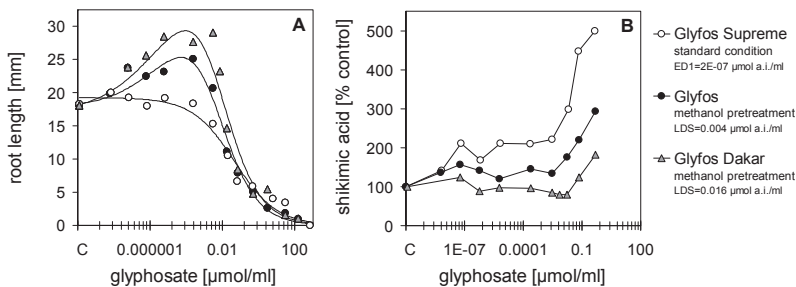


Fig. 4 Effect of Glyphos, Glyphs Supreme, or Glyphs Dakar on root growth (A) and shikimic acid content in roots (B) of *Lactuca sativa*; C = control.

Abb. 4 Wirkung von Glyphos, Glyphs Supreme und Glyphs Dakar auf das Wurzelwachstum und den Shikimi-säuregehalt in Wurzeln von *Lactuca sativa*; C = Kontrolle.

4. Discussion

Low dose responses. Under the conditions of the present bioassay, all tested glyphosate formulations showed significant hormesis only after a methanol pretreatment of lettuce seedlings confirming earlier reports (BELZ et al., 2011). Despite the narrower hormetic dose range for SPEED, the quantitative features f and a characterizing the hormetic effect did not significantly differ between the tested formulations. Even so, there was a tendency towards an improved hormetic performance in the order $GLY < SUP < SPEED < DAK$. Regarding the reproducibility of glyphosate hormesis, none of the formulations showed a reliable performance whereas the appearance of hormesis was consistent for all formulations. This indicates that the formulation is of minor importance with regard to the expression and induction of glyphosate hormesis as well as glyphosate toxicity speaking in favor of

environmentally more benign, POEA-free formulations. Furthermore, as hormesis occurred consistently and not randomly within the three repetitions, there seem to be essential, systematic factors governing the occurrence of glyphosate hormesis. Preconditioning seems to be just one of these essential factors. In greenhouse and field studies, where glyphosate hormesis appears independent of such a purposeful preconditioning (e.g., VELINI et al., 2008; CEDERGREEN et al., 2009; EL-SHAHAWY and SHARARA, 2011ab), the level of light and CO₂ could be distinguished as further factors governing this phenomenon (CEDERGREEN and OLESEN, 2010). Some variability of dose-response features also occurred in the inhibitory dose range, however, here the variation comprised merely a more or less inhibitory effect that was clearly of less importance than the absence of a 30-70 % stimulation. Nonetheless, results also showed that doses $\leq M$ may under no circumstances turn inhibitory. Thus, practical approaches trying to use glyphosate hormesis at doses $\leq M$ may only bear the risk of not achieving a desired increase and whether this risk is low enough to justify treatment costs in the long-run needs to be verified. Field studies achieving a considerable yield increase by low glyphosate doses in two consecutive years point to the possibility (CEDERGREEN et al., 2009; EL-SHAHAWY and SHARARA, 2011ab).

Joint action of glyphosate & pelargonic acid. The contact-type herbicide PA is an often used mixture partner for the slower acting systemic glyphosate in ready-to-use weed control products as it provides immediate visual injury (WEHTJE et al., 2009). Studies investigating the effect of PA on the performance of glyphosate claim that PA has no or an antagonistic effect if applied as an adjuvant but also in ratios equalling those of ready-to-use products (e.g. CHACHALIS and REDDY, 2004; WEHTJE et al., 2009). Evaluating the joint action based on the MSM reference model clearly confirmed a strong antagonistic interaction being most pronounced at low response levels but diminishing at high response levels up to marginal synergistic effects. This corresponds to the observed impaired effect of SPEED at low response levels and the higher efficacy at higher response levels as compared to the Glyphos formulations. Hence, for ready-to-use products the apparent antagonism seems to play a role only at low response levels, while at higher response levels the mixture seems to overcome antagonistic effects on the performance of glyphosate by the additional effect provided by PA toxicity. With sensitive species as lettuce, the practical significance of the observed antagonism is further questioned comparing the observed 1.2-fold worsening of glyphosate performance at ED_{90} with the 8-fold distance between the application rate of SPEED (102.9 $\mu\text{mol a.i./ml}$) and the rate necessary for a ED_{90} response (12.7 $\mu\text{mol a.i./ml}$). With less sensitive target species, however, the PA-based antagonism seems relevant for ready-to-use products at doses used for weed control (WEHTJE et al., 2009).

As both mixture partners are non-hormetic under standard conditions in the lettuce assay, a non-hormetic mixture response was expected and properly confirmed by the dose-response relations for SPEED (59/41 % PA/glyphosate) and the MSM approach. However, a fixed ratio mixture of 35/65 % PA/SUP significantly deviated from this non-hormetic expectation under standard conditions and is thus in contrast to previous mixture predictions of hormetic responses (BELZ et al., 2008). Although the reasons for this are unknown, it may be speculated that at certain mixture ratios the faster acting PA may provide a preconditioning effect similar to that of methanol.

Shikimic acid accumulation. Reports on the underlying molecular mechanisms of the hormetic action of glyphosate are rare. The observation of shikimate accumulation in the hormetic dose range along with the absence of hormesis in glyphosate resistant soybean lead to the assumption of a similar molecular target as the inhibitory effect, the inhibition of EPSP synthase (VELINI et al., 2008). However, the observation of growth stimulation in other glyphosate resistant crops by glyphosate in spite of an insensitive target and the patenting of this effect in 2000 are in contrast to this (BRANTS and GRAHAM, 2000). This study indicates that shikimate accumulates to an even greater extent at sublethal doses in the absence of glyphosate hormesis while when hormesis occurs, shikimate may not necessarily accumulate in the hormetic dose range. Moreover, a considerable increase in shikimate occurs just at doses above the limited dose for stimulation (LDS). Hence, current results confirm that shikimate may accumulate in the hormetic dose range, however, the repression of the primary inhibitory mode of action seems to promote the expression of glyphosate hormesis and, thus, the

findings of BRANTS and GRAHAM (2000). More studies are certainly needed to confirm current findings, especially in consideration of different target species, treatment methods (e.g., spraying) or hormetic response parameters, as results may differ under varying experimental conditions. Nevertheless, in search of the underlying molecular mechanisms of glyphosate hormesis a mode of action differing from the primal inhibitory action should also be considered.

The current state of research in the field of glyphosate hormesis is incomplete, but relevant studies show that the phenomenon exists and that we can and do make use of it. Although current results might be different with a different species or with a different treatment method, they indicate that the formulation of glyphosate plays a minor role for low dose responses as long as no active mixture partner is involved. Apart from that, results reflect that the reliability of this phenomenon remains a major challenge and, thus, elucidating the underlying molecular mechanisms and prerequisites for its occurrence is essential to assure a predictable low dose effect of glyphosate.

Acknowledgements

The authors acknowledge the technical assistance of Despina Savvidou and Elisabeth Zimmermann, as well as the provision of technical herbicides from Stähler Deutschland GmbH & Co. We are grateful to Steve Duke for commenting on an earlier version of the manuscript. This work was funded by the German Research Association (DFG; Einzelförderung), project BE4189/1-1.

References

- APPLEBY, A.P., 1998: THE PRACTICAL IMPLICATIONS OF HORMETIC EFFECTS OF HERBICIDES ON PLANTS. HUMAN & EXPERIMENTAL TOXICOLOGY **17**, 270-271.
- BELZ, R., N. CEDERGREEN AND H. SØRENSEN, 2008: HORMESIS IN MIXTURES – CAN IT BE PREDICTED? SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT **404**, 77-87.
- BELZ, R., N. CEDERGREEN AND S.O. DUKE, 2011: HERBICIDE HORMESIS – CAN IT BE USEFUL IN CROP PRODUCTION? WEED RESEARCH **51**, 321-332.
- BRANTS, I.O. AND W. GRAHAM, 2000: USE OF N-(PHOSPHONOMETHYL) GLYCINE AND DERIVATIVES THEREOF. U.S. PATENT No. 6,083,878.
- CASTELLANO, D., F.A. MACÍAS, M. CASTELLANO AND R. CAMBRONERO, 2001: FITOMED (AUTOMATED SYSTEM FOR THE MEASUREMENT OF VARIABLE LENGTHS). SPAIN PATENT No. P9901565.
- CEDERGREEN, N., C. RITZ AND J.C. STREIBIG, 2005: IMPROVED EMPIRICAL MODELS DESCRIBING HORMESIS. ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY **24**, 3166-3172.
- CEDERGREEN, N., 2008: HERBICIDES CAN STIMULATE PLANT GROWTH. WEED RESEARCH **48**, 1-10.
- CEDERGREEN, N., C. FELBY, J.R. PORTER AND J.C. STREIBIG, 2009: CHEMICAL STRESS CAN INCREASE CROP YIELD. FIELD CROPS RESEARCH **114**, 54-57.
- CEDERGREEN, N. AND C.F. OLESEN, 2010: CAN GLYPHOSATE STIMULATE PHOTOSYNTHESIS? PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY **96**, 140-148.
- CHACHALIS, D. AND K.N. REDDY, 2004: PELARGONIC ACID AND RAINFALL EFFECTS ON GLYPHOSATE ACTIVITY IN TRUMPETCREEPER (*CAMPISID RADICANS*). WEED TECHNOLOGY **18**, 66-72.
- DALLEY, C.D. AND E.P. JR. RICHARD, 2010: HERBICIDES AS RIPENERS FOR SUGARCANE. WEED SCIENCE **58**, 329-333.
- EL-SHAHAWY, F.A. AND F.A.A. SHARARA, 2011A: HORMETIC EFFECT OF GLYPHOSATE ON WHEAT AND ASSOCIATED WEEDS. INTERNATIONAL JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH **3**, 520-523.
- EL-SHAHAWY, F.A. AND F.A.A. SHARARA, 2011B: HORMESIS INFLUENCE OF GLYPHOSATE IN BETWEEN INCREASING GROWTH, YIELD AND CONTROLLING WEEDS IN FABA BEAN. JOURNAL OF AMERICAN SCIENCE **7**, 139-144.
- STREIBIG, J.C., 1988. HERBICIDE BIOASSAY. WEED RESEARCH **28**, 479-484.
- STREIBIG, J.C. AND J.E. JENSEN, 2000: ACTIONS OF HERBICIDES IN MIXTURE. IN: COBB, A.H., R.C. KIRKWOOD (EDS.), HERBICIDES AND THEIR MECHANISMS OF ACTION, PP. 153-180. SHEFFIELD ACADEMIC PRESS, SHEFFIELD.
- VELINI, E.D., E. ALVES, M.C. GODOY, D.K. MESCHEDA, R.T. SOUZA AND S.O. DUKE, 2008: GLYPHOSATE APPLIED AT LOW DOSES CAN STIMULATE PLANT GROWTH. PEST MANAGEMENT SCIENCE **64**, 489-496.
- WEHTJE, G., J.E. ALTLAND AND C.H. GILLIAM, 2009: INTERACTION OF GLYPHOSATE AND PELARGONIC ACID IN READY-TO-USE WEED CONTROL PRODUCTS. WEED TECHNOLOGY **23**, 544-549.
- ZELAYA, I.A., J.A.H. ANDERSON, M.D.K. OWEN AND R.D. LANDES, 2011: EVALUATION OF SPECTROPHOTOMETRIC AND HPLC METHODS FOR SHIKIMIC ACID DETERMINATION IN PLANTS: MODELS IN GLYPHOSATE-RESISTANT AND -SUSCEPTIBLE CROPS. JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY **59**, 2202-2212.

Neue Perspektiven bei der Unkrautbekämpfung im Winterraps durch die Einführung des Clearfield®-Systems

New perspectives for weed control in winter oilseed rape due to the introduction of the Clearfield® system

Matthias Pfenning*, Ron Kehler & Hagen Bremer
BASF SE, Speyerer Str. 2, D-67117 Limburgerhof

*Korrespondierender Autor, matthias.pfenning@basf.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.053

Zusammenfassung

Winterraps ist eine der wichtigsten Ackerbaukulturen in Europa. Die Bedeutung dieser Ölfucht nimmt seit Jahren zu. Um die Erträge zu sichern, ist eine verlässliche Unkrautkontrolle unabdingbar. Wirkstoffbedingt wird diese zumeist im Voraufbau der Kultur oder im Keimblattstadium der Unkräuter durchgeführt, was oft auch mit dem Auflaufen des Rapses zusammen fällt. Unkrautdichten und damit Schadensschwellen können bei diesem frühen Einsatztermin nicht abgeschätzt werden. Breit wirksame, verträgliche und im Nachaufbau einsetzbare Herbizide mit stabiler Wirkung unter den verschiedensten Boden- und Witterungsbedingungen wären daher eine wünschenswerte Weiterentwicklung der Rapsanbausysteme. Mit der Einführung von Imidazolinon-tolerantem Winterraps in Europa sind diese Fortschritte mit einer zielgerichteten Unkrautkontrolle zu erreichen. Die während der Entwicklung des Clearfield®-Produktionssystems gesammelten Erfahrungen werden anhand mehrjähriger Zusammenfassungen sowie beispielhaft an verschiedenen Einzelergebnissen dargestellt. Insbesondere werden die Stetigkeit der Wirkung im Vergleich zu heutigen Standardherbiziden, sowie die Bekämpfungsmöglichkeit von Ausfallgetreide und Kreuzifern im Nachaufbau aufgezeigt.

Stichwörter: Clearfield®, Herbizidtoleranz, Imidazolinone, Stetigkeit, Winterraps

Summary

Winter oilseed rape is an increasingly important field crop in Europe. To safeguard yield, reliable and sustainable weed control systems are required. Weed control in oilseed rape today is based primarily on pre-emergence herbicides. Weed densities or threshold principles cannot be considered at this application timing. Post-emergence herbicides with a broad spectrum and reliable efficacy over different soil and environmental conditions would be a desirable development for oilseed rape cultivation systems. The introduction of imidazolinone tolerant winter oilseed rape in Europe brings genuine improvement in weed control for oilseed rape. Accumulated experience during the development of the Clearfield Production System is demonstrated with multi year and exemplary single experiments. Of particular note, the reliability and consistency of the efficacy as compared to standard herbicides is outlined. The possibility of post-emergence control of crucifer weeds and the cross spectrum activity on volunteer cereals is demonstrated.

Keywords: Clearfield®, herbicide tolerance, imidazolinone, reliability, winter oilseed rape

1. Einleitung

Winterraps zählt zu den profitabelsten Ackerbaukulturen im deutschen und im europäischen Ackerbau. Allerdings ist Winterraps im Vergleich zu anderen Ölpflanzen wie Sonnenblume oder Soja auch eine technisch anspruchsvolle Kultur deren Ertragspotential zum großen Teil bereits im Herbst angelegt wird. Einer flexiblen und dem integrierten Pflanzenschutz entsprechenden Unkrautbekämpfung zu diesem Zeitpunkt kommt deshalb eine besondere Stellung zu. Für die Durchführung einer breit wirksamen Herbizidanwendung steht heute ein maximaler Zeitraum von 15-20 Tagen zur Verfügung. Produkte mit dem breitesten Wirkungsspektrum sind in der Regel Voraufbauprodukte mit einem entsprechend (1-5 Tage) kürzeren Anwendungsfenster. Bei ungünstigen Witterungsbedingungen ist bei Voraufbauanwendungen ein Verträglichkeitsrisiko bedingt durch hohe Niederschläge oder auch Minderwirkungen bei Trockenheit nicht auszuschließen. In Getreidefruchtfolgen steht vor der Rapsaussaat nur eine kurze Zeitspanne für die Bodenbearbeitung zur Verfügung – auch ein entscheidender Grund für den steigenden Anteil von Mulchsaaten bei Raps. Unkrautbekämpfung im Winterraps wird heute wirkstoffbedingt, hauptsächlich im Voraufbau bzw. im sehr frühen Nachaufbau, durchgeführt. Bodenherbizide sind

allerdings nur suboptimal für den pfluglosen Rapsanbau geeignet. Strohrefeste, klutige Saatbeet und ungleichmäßige tiefe Saatgutablage verlangen nach Herbiziden, die weitestgehend unabhängig von der Bodenbeschaffenheit und organischer Substanz in der Krume ein breites Wirkungsspektrum bei bester Kulturverträglichkeit aufweisen und so eine Optimierung des Anbauverfahrens durch den Einsatz von Mulchsaat zulassen. Ausfallgetreide muss in der Regel mit einem zusätzlichen Graminizid bekämpft werden. Das Clearfield®-Produktionssystem in Winterraps kann durch ein flexibles Anwendungsfenster im Nachauflauf, einer weitestgehenden Unabhängigkeit von Bodenbeschaffenheit und Pflanzenrückständen eine Optimierung der Unkrautbekämpfung bieten. Diese und weitere Aspekte werden anhand mehrjähriger Versuchsergebnisse diskutiert.

2. Material und Methoden

2.1 Allgemein

Im Rahmen der Produktentwicklung und Registrierung verschiedener Clearfield-Herbizide wurden europaweit 2007 bis 2010 Wirkungs- und Registrierungsversuche durchgeführt. In den beschriebenen Versuchen wurde als konventionelles Standardherbizid Butisan® Top (Metazachlor 375 g/l + Quinmerac 125 g/l) bzw. Novall® (Metazachlor 400 g/l + Quinmerac 125 g/l) eingesetzt. Als Clearfield-Herbizide kamen BAS 798 00 H (Metazachlor 375 g/l + Quinmerac 100 g/l + Imazamox 17,5 g/l) sowie BAS 798 01 H (Metazachlor 375 g/l + Quinmerac 125 g/l + Imazamox 6,25 g/l) zum Einsatz. Die Versuche wurden als randomisierte Blockanlagen mit 3-4 Wiederholungen nach EPPO Richtlinien (EPPO PP1-049-3) angelegt. Die Applikation der Herbizide erfolgte mit einer Wassermenge von 200 bis 300 l/ha und wurde mit vorhandener Kleinparzellentechnik durchgeführt. Die Versuche wurden auf Praxisflächen mit Mulch oder Pflugsaat in Schwerpunkt-Rapsanbau-Regionen sowie auf Versuchstationen durchgeführt. Konventionelle Standardherbizide wurden jeweils im Keimblatt- bis max. 1. Laubblattstadium der Unkräuter eingesetzt. Grafiken, die als Box und Whisker-Plot dargestellt sind, enthalten die Standardabweichung, Median und die 5, 25, 75 und 95 Perzentile.

2.2 Stetigkeit der Clearfield Herbizidleistung

Die Versuchsergebnisse sind Zusammenfassungen aller in den Versuchen bonitierten Unkräuter und Ungräser, wobei die jeweiligen Versuchsjahre einen orthogonalen Vergleich der Standardherbizide zu BAS 798 00 H bzw. zu BAS 798 01 H darstellen. Die Clearfield-Herbizide wurden im Stadium BBCH 11-25 der Unkräuter/Ungräser bzw. im Stadium BBCH 11-18 der Kultur appliziert. Die Ergebnisse sind als Frühjahrsbonitur zum Beginn der Vegetation ca. 160-180 Tage nach der Behandlung ausgewiesen.

2.3 Zusatzleistung auf Ausfallgetreide

In europäischen Entwicklungsversuchen wurde die Stetigkeit der Wirkung auf Ausfallgetreide (*Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare*) in Clearfield®-Raps bewertet. Die Versuche wurden in Deutschland, Frankreich, England, Polen, der Tschechischen Republik und Ungarn angelegt. Die Wirkung bei unterschiedlichen Anwendungsterminen wurde im Frühjahr nach Vegetationsbeginn bonitiert. Die Versuche wurden bei unterschiedlichsten Boden- und Wetterbedingungen über vier Jahre durchgeführt.

2.4 Wirkungsvergleich bei gepflügter und pflugloser Anwendung

Zum direkten Vergleich der herbiziden Wirkung bei gepflügter und pflugloser Anwendung des Clearfield Systems zu konventionellen Herbiziden, wurde 2009 durch die FH Bingen auf einer Praxisfläche ein Versuch nach Wintergerste als Vorfrucht angelegt, bei der auf der gleichen Fläche nebeneinander jeweils dieselben Herbizidbehandlungen mit und ohne Pflug eingesetzt wurden. Der Versuch wurde als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Bonituren wurden 22 Tage nach der letzten Behandlung im Herbst, sowie Ende März des Folgejahres durchgeführt. Als Standardherbizide kamen Nimbus® CS (Metazachlor 250 g/l + Clomazone 33 g/l) im Voraufbau, Butisan Top zum Stadium BBCH 09-11, sowie Focus® Ultra (Cycloxydim 100 g/l) zu BBCH 13-14 zum Einsatz. Als Clearfield-Herbizide wurden BAS 798 01 H (BBCH 09-11 und 12-14) sowie BAS 798 00 H (BBCH 12-14) jeweils mit Dash® E.C. eingesetzt. Die Wasseraufwandmenge betrug 200 l/ha.

3. Ergebnisse

3.1 Stetigkeit der Clearfield Herbizidleistung

Bei dem mehrjährigen Vergleich in Europa (2007–2010) wurden orthogonal innerhalb eines Jahres BAS 798 00 H mit jeweils 2,0 l/ha + Dash E.C. (1,0 l/ha) mit Novall (2,5 l/ha) verglichen (Abb. 1). Bei der Betrachtung der Gesamtherbizidleistung (alle bonitierten Unkräuter/Ungräser) über die Jahre werden die Unterschiede zwischen den Varianten Clearfield-Herbizid und konventionellem Herbizid deutlich. Obwohl Novall mit einer höheren Metazachlor-Menge immer zu dem empfohlenem Zeitpunkt im frühen NAK (Nachauflauf Keimblatt) eingesetzt wurde, war die Gesamtleistung jahresbedingt sehr unterschiedlich. Die Streuung der Wirkung wird vor allem in den Jahren 2007, 2008 und teilweise auch in 2010 deutlich. Dagegen war die Leistung des Clearfield-Herbizids über alle Jahre stabil auf hohem Niveau (95-100 %) und zeichnete sich trotz des breiten Anwendungsbereichs im Stadium BBCH 11-16/18 durch eine geringe Streuung aus.

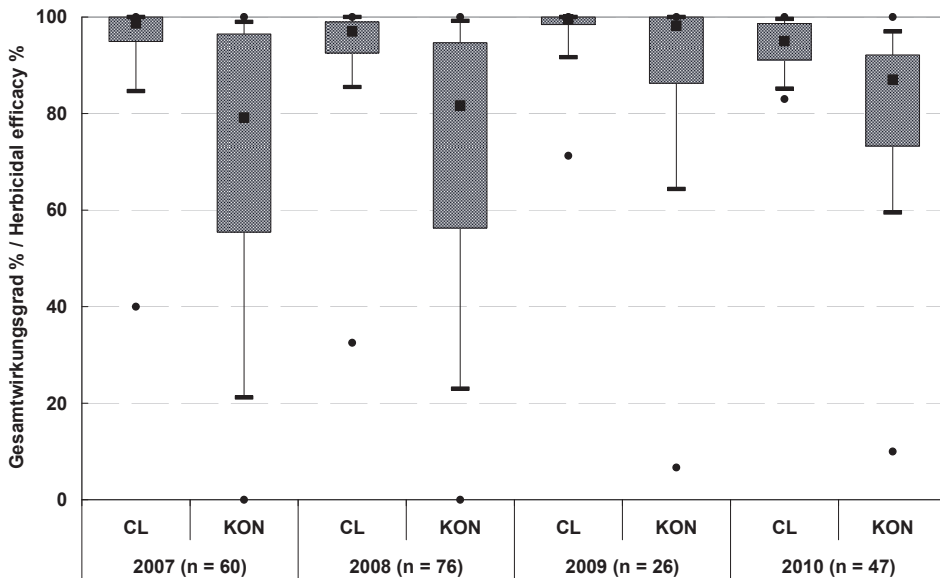


Abb. 1 Stetigkeit der Gesamtherbizidleistung von BAS 798 00 H (2,0 l/ha) + Dash E.C. (1,0 l/ha) (CL) im Vergleich zu Novall (KON) in Europa 2007-2010.

Fig. 1 Reliability of the total herbicide efficacy of BAS 798 00 H (2.0 l/ha) + Dash E.C. (1.0 l/ha) (CL) in comparison to Novall (KON) in Europe 2007-2010.

Das mit einem reduzierten Imazamox-Gehalt ausgestattete BAS 798 01 H wurde in 2009 und 2010 mit Butisan Top in der Gesamtherbizidleistung verglichen (Abb. 2). Butisan Top wurde im NAK, BAS 798 01 H im Stadium der Kultur BBCH 11-13/14 appliziert.

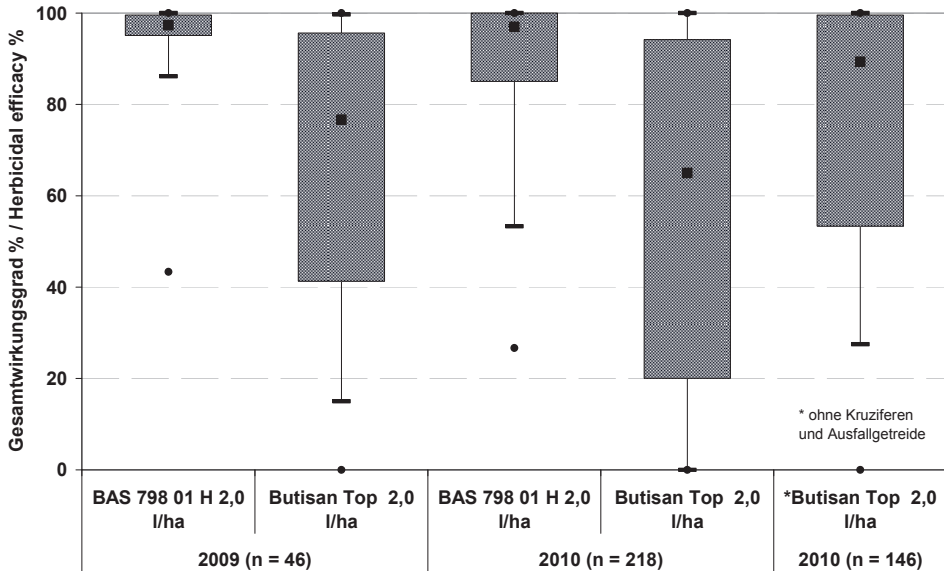


Abb. 2 Stetigkeit der Gesamtherbizidleistung von BAS 798 01 H mit 2,0 l/ha + Dash E.C. (1,0 l/ha) (CL) im Vergleich zu Butisan Top (KON) in Europa 2009-2010.

Fig. 2 Reliability of the total herbicide efficacy of BAS 798 01 H with 2.0 l/ha + Dash E.C. (1.0 l/ha) (CL) in comparison to Butisan Top (KON) in Europe 2009-2010.

Auch hier zeigte sich die Leistung des Clearfield-Herbizids dem konventionellen Herbizid deutlich überlegen. Bedingt durch die zeitlich frühere Anwendung von BAS 798 01H mit entsprechenden kleineren Unkrautstadien konnte die reduzierte Menge Imazamox ausgeglichen werden. Die starke Streuung von Butisan Top in 2010 wurde bedingt durch einen hohen Anteil von Kruzifern und Ausfallgetreide und kann in der Betrachtung ohne diese Unkräuter teilweise relativiert werden.

3.2 Zusatzleistung auf Ausfallgetreide

Die Bekämpfung von Ausfallgetreide ist eine Standardmaßnahme die auf dem überwiegenden Teil der Rapsflächen durchgeführt wird (ORSON, 1994). Vor allem dann, wenn auf den Pflug verzichtet wird, ist mit einem verstärkten Auftreten von Ausfallgetreide zu rechnen (SCHMIDT, O.J.). Als Schadschwelle werden 15-30 Pflanzen je m² genannt (LUTMAN und DIXON, 1990). In einer orthogonalen Gegenüberstellung wird die Zusatzleistung von BAS 798 01 H sowie von BAS 798 00 H auf Ausfallgetreide (Weizen und Gerste) mit und ohne dem Additive Dash E.C. über die Jahre 2007 bis 2010 in Clearfield-Raps dargestellt. Die Anwendung von BAS 798 00 H + Dash E.C. im Stadium BBCH 11-14 zeigte sich von beiden Formulierungen am stabilsten und erreichte bei einer geringen Streuung einen sehr hohen Wirkungsgrad (Abb. 3). Die Imazamox-reduzierte Variante BAS 798 01 H wies zu diesem Behandlungszeitpunkt ebenfalls eine gute Wirksamkeit von im Mittel 95 % auf. Anwendungen ohne Zugabe von Dash E.C. oder in späteren Entwicklungsstadien waren nicht ausreichend wirksam. Zum einen können die reduzierten Wirkungen auf eine Abdeckung des Ausfallgetreides durch den Raps aber auch durch schon weit bestocktes Getreide begründet werden.

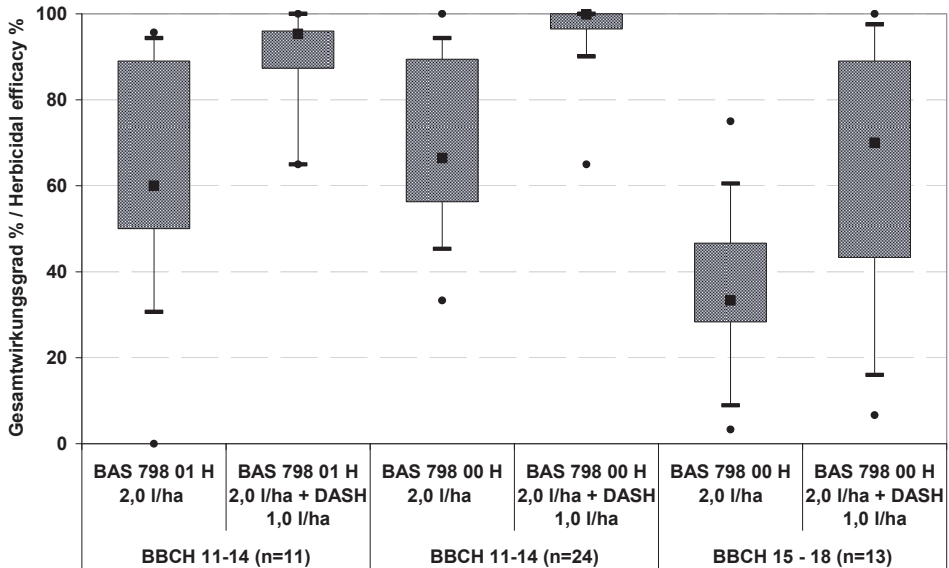


Abb. 3 Ausfallgetreidebekämpfung bei unterschiedlichen Applikationsterminen mit BAS 798 01 H und BAS 798 00 H jeweils mit und ohne Dash E.C. in Europa 2009-2010.

Fig. 3 Volunteer cereal control at different application timings with BAS 798 01 H and BAS 798 00 H with and without Dash E.C. in Europe 2009-2010.

In 2010 wurden in Frankreich Zeitstafelversuche mit verschiedenen Aufwandmengen von BAS 798 00 H zu drei verschiedenen Entwicklungsstadien gegen Ausfallgerste durchgeführt. Zu frühe Anwendungen in FR2 in BBCH 00-11, bei denen das Ausfallgetreide nur teilweise aufgelaufen war, führten zu einer nicht ausreichenden Wirkung; wohingegen Anwendungen im 1-3 Blattstadium (BBCH 11-13) schon mit reduzierten Aufwandmengen zu guten bis sehr guten Wirkungsgraden kamen. Mit der vollen Dosierung von 2,0 l/ha wurde auch bei einer Anwendung in BBCH 23-25 die Ausfallgerste noch sehr gut bekämpft. Gerste (FR1), die sich schon zu weit bestockt hatte (BBCH 25-29), wurde unabhängig von der eingesetzten Aufwandmenge unzureichend erfasst. Der Zusatz von Dash E.C. als Additiv ist wesentlich für die Ausfallgerstenbekämpfung wie das Versuchsglied ohne Dash E.C. eindrucksvoll beweist.

Tab. 1 Ausfallgerstebekämpfung in Clearfield®-Raps im Aufwandmengen- und Zeitstafelversuch (Wirkungsgrade in %).

Tab. 1 Volunteer barley control in Clearfield® oilseed rape - rate and timing trial (efficacy in %).

Timing	Kultur (BBCH)	HORVW (BBCH)	BAS 798 00 H			
			1,0 l/ha	1,5 l/ha	2,0 l/ha	2,0 l/ha w/o Dash
			+ 1,0 l/ha Dash E.C.			
France 1 (FR1)						
NA1 / PO1	10-12	09-11	81	89	99	27
NA2 / PO2	11-13	11-13	43	96	95	30
NA3 / PO3	15-17	25-29	10	43	57	3
France (FR2)						
NA1 / PO1	10-12	00-10	67	65	66	33
NA2 / PO2	11-13	11-13	99	100	100	30
NA3 / PO3	15-17	23-25	88	91	98	3
France 2010 (n = 2)						

3.3 Wirkung gegen Kreuziferen

In einer Zusammenfassung von Versuchsergebnissen aus Deutschland und Frankreich der Jahre 2007 – 2010 wird in einem direkten Vergleich die Wirkung von BAS 798 00 H und einem konventionellen Herbizid (Butisan Top oder Novall) dargestellt (Fig. 4).

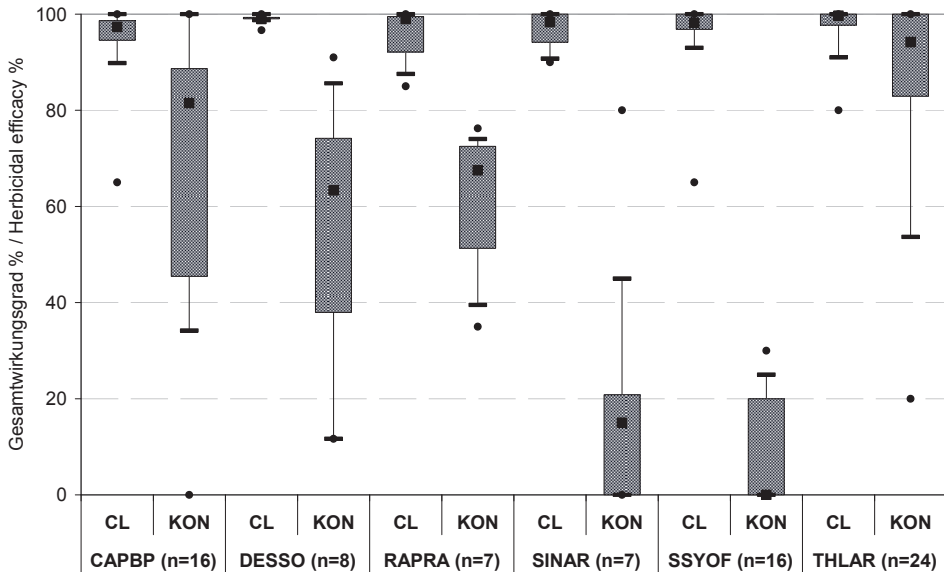


Abb. 4 Bekämpfung von Kreuziferen in Clearfield®-Raps mit BAS 798 00 H (2,0 l/ha) + Dash E.C. (1,0 l/ha) (CL) - orthogonaler Vergleich mit Butisan Top / Novall (KON) in Europa 2007-2010.

Fig. 4 Control of cruciferous weeds in Clearfield® oilseed rape with BAS 798 00 H (2.0 l/ha) + Dash E.C. (1.0 l/ha) (CL) in an orthogonal comparison with Butisan Top / Novall (KON) in Europe 2007-2010.

Dargestellt ist die Wirkung auf *Capsella bursa-pastoris* (CAPBP), *Descurainia sophia* (DESSO), *Raphanus raphanistrum* (RAPRA), *Sinapis arvensis* (SINAR), *Sisymbrium officinale* (SSYOF) und *Thlaspi arvense* (THLAR). BAS 798 00 H mit der vollen Aufwandmenge bekämpfte die genannten Kreuziferen mit sehr guten Wirkungsgraden mit im Mittel über 96 % bei geringer Streuung der Ergebnisse. Der Vergleich zu einem konventionellen Herbizid zeigt sehr gut die Zusatzleistung die von Imazamox erbracht wird. Allerdings müssen die Unkräuter zum Zeitpunkt der Anwendung aufgelaufen sein, da in der Regel die Bodenwirkung nicht ausreichend ist.

3.4 Wirkungsvergleich bei Mulch- und Pflugsaat

Beim Ausgangsbesatz differierten die Bodenbearbeitungen signifikant nur bei dem Besatz mit Ausfallgerste (Tab 2). In der unbehandelten Kontrolle waren in der gepflügten Parzelle 13 Pflanzen pro m² und in der ungepflügten Parzelle 150 Pflanzen zu finden. In den gepflügten Parzellen wurde mit Ausnahme von Nimbus CS und Butisan Top ohne zusätzliches Graminizid die Ausfallgerste gut bis sehr gut bekämpft. Allein bei der sehr frühen Anwendung von BAS 798 01 H wurde keine komplette Wirkung erreicht, was auf einen noch nicht vollständigen Auflauf der Gerste zum Zeitpunkt der Anwendung hindeutet. *Thlaspi arvense* wurde zum Ende der Vegetation nur von BAS 798 00 H und BAS 798 01 H im Stadium 12/14 vollständig (99-100 %) kontrolliert. Die frühe Anwendung von BAS 798 01 H sowie Nimbus CS und Butisan Top waren nicht ausreichend. Nimbus konnte über Winter die Wirkung vervollständigen, während die Butisan Top Varianten nicht zufriedenstellend abschnitten. Die hohe Besatzdichte von Ausfallgerste in der Mulchsaatvariante war bei den konventionellen Herbiziden nur durch eine Anwendung von Focus Ultra im Stadium 13/14 zu bekämpfen. Die Clearfield-Varianten zeigten durchgehend hohe Wirkungsgrade von 98-100 % bei der

Frühjahrsbonitur. THLAR wurde bei der ungepflügten Variante nur bei der Solo-Anwendung von Nimbus CS bekämpft. In der Kombination mit Focus Ultra fiel die Wirkung hingegen stark ab, was auf einen späteren Auflauf von THLAR nach dem Ausschalten der Ausfallgerste hindeutet. Die Wirkung des sehr früh eingesetzten BAS 798 01 H lag höher als Butisan Top, konnte allerdings nicht das Level der späteren Anwendungen in BBCH 12/14 erreichen. Alle anderen Clearfield-Behandlungen schlossen mit 98 -100 % Wirkung ab.

Tab. 2 Wirkung (%) von konventionellen und Clearfield-Herbiziden bei der Anwendung mit und ohne Pflug in Bingen 2010 .

Tab. 2 Efficacy (%) comparison of conventional versus Clearfield herbicides at ploughing or minimum tillage in Bingen 2010.

Behandlung	Zeitpunkt	Mit Pflug				Ohne Pflug			
		HORVW		THLAR		HORVW		THLAR	
Unbehandelt ¹		13		14		150		18	
Nimbus (2,5 l/ha)	VA	0	0	50	100	0	0	53	100
Butisan Top (2,0 l/ha)	09/11	0	0	0	78	0	0	0	25
Nimbus (2,5 l/ha) + F.-Ultra (1,0 l/ha)	VA+13/14	99	100	51	100	100	100	16	50
Butisan Top (2,0 l/ha) + F.- Ultra (1,0 l/ha)	09/11+13/14	100	100	0	25	100	100	0	25
*BAS 798 01 H (2,0 l/ha)	09/11	97	92	14	48	94	98	14	75
*BAS 798 01 H (2,0 l/ha)	12/14	90	98	100	100	90	98	100	100
*BAS 798 00 H (1,5 l/ha)	12/14	95	100	99	100	93	100	100	100
*BAS 798 00 H (2,0 l/ha)	12/14	96	100	99	100	97	100	100	100

¹ Unbehandelt enthält die Anzahl Unkräuter je m² zur Herbstbonitur; * mit Dash E.C. (1,0 l/ha).

¹ Untreated contains the number of weeds in m² at the autumn evaluation; *includes Dash E.C. (1.0 l/ha).

4. Diskussion

Der Beitrag befasst sich mit einigen spezifischen Produktvorzügen des Clearfield-Systems für Winterraps. In den zusammengefassten Versuchen der Entwicklungsperiode 2007-2010 konnte eine hohe Stetigkeit der Herbizidleistung nachgewiesen werden. Die im Ergebnissteil dargestellten Versuche verdeutlichen, dass die höhere Wirkungssicherheit vor allem auch unter ungünstigen Anwendungsbedingungen einen wichtigen Vorteil des Clearfield-Systems darstellt. Die Anwendung mit Dash E.C. als Additiv stellt sich in allen Versuchen als die bessere Lösung vor allem gegen Gräser (Ausfallgetreide) dar. Die bessere Retention und schnellere Wirkstoffaufnahme sind der Hauptgrund für diese Wirkungssteigerung, welche in den meisten Fällen eine zusätzliche Anwendung eines spezifischen Graminizids erübrigt. Die Ergebnisse zeigen, dass für hohe Wirkungsgrade die Unkräuter/Ungräser aufgelaufen sein müssen, um die starke Blattwirkung von Imazamox zu nutzen. Allerdings wird auch verdeutlicht dass sehr späten Anwendungen bedingt durch Unkrautgröße und Abschirmeffekte Grenzen gesetzt sind. Anwendungen im Kulturenstadium BBCH 12-14/16 zeigten über die Jahre die beste Leistung. Die Imazamox-reduzierte Formulierung BAS 798 01 H konnte bei etwas verringerter terminlicher Flexibilität ebenfalls hohe Zusatzleistungen gegenüber Standardvarianten auf Ausfallgetreide und andere Unkräuter erzielen. Spezielle Unkrautprobleme wie z.B. Kruziferen werden mit hoher Wirkungssicherheit im Nachauflauf bekämpft. Die zeitlich flexible Anwendung bei gleichzeitiger Unabhängigkeit von der Bodenbearbeitung ist ein Novum für die Unkrautbekämpfung im Raps. Dadurch können Arbeitsspitzen entzerrt werden und Anwendungstermine im Bezug auf Witterungsbedingungen optimiert werden. Die mögliche Einsparung eines zusätzlichen Graminizids gepaart mit reduzierten Überfahrten stellen auch eine nicht unwesentliche ökonomische Verbesserung der Pflanzenschutzmassnahmen dar. Bei einer sehr guten Verträglichkeit im Nachauflauf werden heute übliche Risiken bei der Anwendung von

Vorauflaufherbiziden vermieden. Durch die Anpassung der Herbizidanwendung an das tatsächliche Unkrautvorkommen durch eine gezielte Anwendung im Nachauflauf ist das Clearfield-Produktionssystem ein wichtiger Baustein im integrierten Pflanzenschutz.

Literatur

- DAVIS, K., 2005: WEED MANAGEMENT IN OILSEED RAPE CROPS. ©SAC 2005.
[HTTP://WWW.SAC.AC.UK/MAINREP/PDFS/TN578WEEDWINTEROSR.PDF](http://www.sac.ac.uk/mainrep/pdfs/tn578weedwinterosr.pdf).
- ANONYMUS, 2006: EPPO - GUIDELINE PP1/049 (3). WEEDS IN BRASSICA OIL CROPS.
- GEHRING, K. UND S. THYSSEN, 2010/11: BEKÄMPFUNG VON UNGRÄSERN UND AUSFALLGETREIDE IN WINTERRAPS.
[HTTP://WWW.AELF-RE.BAYERN.DE/PFLANZENBAU/20819/LINKURL_3.PDF](http://www.aelf-re.bayern.de/pflanzenbau/20819/linkurl_3.pdf).
- LUTMAN, P.J.W. AND F.L. DIXON, 1990: THE COMPETITIVE EFFECTS OF VOLUNTEER BARLEY (*HORDEUM VULGARE*) ON THE GROWTH OF OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*). ANNALS OF APPLIED BIOLOGY **17**, 633-644.
- ORSON, J.H. 1994: ARABLE CROPS AS WEEDS. THE AGRONOMIST **1**, 11-13.
- SCHMIDT W., OHNE JAHR: SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE. REFERAT 72 BODENKULTUR
[HTTP://WWW.UMWELT.SACHSEN.DE/LANDWIRTSCHAFT/11937.HTM](http://www.umwelt.sachsen.de/landwirtschaft/11937.htm).

Bekämpfung von Clearfield®-Ausfallraps in Zuckerrüben

Control of volunteer Clearfield® oilseed rape in sugar beet

Cord Buhre^{1*}, Hagen Bremer² & Erwin Ladewig¹

¹Institut für Zuckerrübenforschung, Abteilung Koordination, Holtenser Landstraße 77, 37079 D-Göttingen

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

*Korrespondierender Autor, buhre@ifz-goettingen.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.054

Zusammenfassung

Das Clearfield®-Produktionssystem für Winterraps ist in Frankreich bereits zugelassen und zukünftig auch in Deutschland vorgesehen. Durch den gleichen Wirkmechanismus, der im Clearfield®-Produktionssystem eingesetzten Wirkstoffgruppe der Imidazolinone, ist in Zuckerrüben von einer verminderten Wirksamkeit des Wirkstoffs Triflursulfuron-methyl im Pflanzenschutzmittel Debut® bei der Bekämpfung von möglichem Clearfield®-Ausfallraps auszugehen. Dieser Wirkstoff wird zur Zeit als sicherster Baustein bei der Bekämpfung von Ausfallraps in Zuckerrüben angesehen. Da Raps und Zuckerrüben zunehmend in gemeinsamen Fruchtfolgen angebaut werden, ist prinzipiell auch das Auftreten von Clearfield®-Raps in Zuckerrübenfruchtfolgen wahrscheinlich.

Um Optionen für eine sichere Bekämpfung von Clearfield®-Raps in Zuckerrüben zu testen, wurden in den Jahren 2010 und 2011 an insgesamt 14 Standorten in Deutschland, Polen, Rumänien und der Slowakei Herbizidversuche durchgeführt. In einer zweifaktoriellen Spaltanlage wurde die Bekämpfung von Nicht-Clearfield®-Ausfallraps und Clearfield®-Ausfallraps untersucht. Dabei wurde die Wirkung von zehn Herbizidstrategien gegenüber dem auflaufenden Raps untersucht. Die Herbizidstrategien unterschieden sich hinsichtlich des Behandlungstermins und der eingesetzten Wirkstoffe.

Die Ergebnisse zeigen in beiden Jahren deutliche, gleichgerichtete Unterschiede der untersuchten Strategien hinsichtlich ihrer herbiziden Wirksamkeit. Applikationen im Voraufbau führten in beiden Jahren und Rapsorten zu keinen zufriedenstellenden Ergebnissen in der Bekämpfung. Während der Nicht-Clearfield®-Raps durch den Zusatz des Pflanzenschutzmittels Debut® (Triflursulfuron-methyl) im Nachaufbau gut bekämpft werden konnte, zeigte sich gegenüber dem Clearfield®-Raps eine deutliche Wirkungsschwäche. Eine Kombination von Herbiziden unter Einbezug des Mittels Venzar® (Wirkstoff Lenacil) führte zu hohen Bekämpfungserfolgen.

Stichwörter: Herbizidstrategien, Nachaufbau, Voraufbau, Wirksamkeit

Summary

The Clearfield® production system for winter oilseed rape is now registered in France and a introduction for Germany is planned. In this production system, imidazolinone herbicides are used. These herbicides belong to the same mode of action (HRAC group B) as the active ingredient triflursulfuron-methyl in the herbicide Debut®. Therefore, a reduced efficacy of this active ingredient for the control of Clearfield® volunteer oilseed rape is expected. Today non-Clearfield® volunteer oilseed rape in sugar beets is effectively controlled with triflursulfuron-methyl. Due to the fact that oilseed rape and sugar beet are increasingly cultivated in the same crop rotation, Clearfield® volunteer oilseed rape could be expected in future sugar beet crop rotations.

To determine the performance of different herbicide treatments for a sufficient control of Clearfield® volunteer oilseed rape in sugar beet, in 2010 and 2011 14 field-trials were conducted in four countries, Germany, Poland, Romania and Slovakia. These trials had been set up in a two way split-plot design with non-Clearfield®-rape and Clearfield® oilseed rape. The effects of ten treatments with different herbicides and application dates were tested.

The results of both years showed large differences in the herbicide efficacy among the herbicide treatments. Pre-emergence application led to insufficient results in both years on both cultivars. Applied post-emergence, the herbicide treatment with Debut® (triflursulfuron-methyl) controlled non-Clearfield® volunteer rape considerable better, than the Clearfield® volunteer rape. A combination of herbicides in addition with Venzar® (Lenacil) provided good control of volunteer Clearfield® oilseed rape.

Keywords: Herbicide efficacy, herbicide strategies, post-emergence application, pre-emergence application

1. Einleitung

Bei dem Clearfield®-Produktionssystem handelt es sich um Rapsorten, die eine induzierte Toleranz gegenüber den Wirkstoffen der Gruppe der Imidazolinone besitzen (TAN et al., 2005). Das Clearfield®-Produktionssystem wurde in Sommerraps entwickelt und wird seit 1995 in Nordamerika genutzt. Es soll nun auch in Winterraps integriert in den europäischen Markt eingeführt werden. Für Deutschland ist mit der Zulassung von ersten Sorten ab dem Jahr 2012 zu rechnen. Die ersten Imidazolinonverbindungen wurden zu Beginn der 80er Jahre in den USA eingesetzt (BÖRNER, 1995). Durch die Anwendung dieser Herbizidgruppe mit dem Wirkstoff Imazamox in Deutschland werden die Möglichkeiten der Unkrautbekämpfung im Nachauflauf des Rapses erweitert.

In den letzten Jahren wurden Raps und Zuckerrüben in Niedersachsen zunehmend in gemeinsamen Fruchtfolgen angebaut, da dies zu pflanzenbaulichen und ökonomischen Vorteilen führen kann (LEHRKE, 2011). Auch in bundesweiten Umfragen zeigte sich eine Ausdehnung des Rapsanbaus in Zuckerrübenfruchtfolgen (BUHRE et al., 2011a). Beim Anbau von Raps in einer Fruchtfolge mit Zuckerrüben muss bei der Herbizidbehandlung auf eine sichere Bekämpfung des auflaufenden Ausfallraps geachtet werden. Eine starke Verunkrautung mit Raps in Zuckerrübe kann neben Ertragsdepressionen (DIEPENBROCK et al., 1999) zu einer erheblichen Ernteerschwernis führen. Als sicherster Baustein zur Bekämpfung von Ausfallraps wird dabei zur Zeit der Wirkstoff Triflursulfuron-Methyl in Zuckerrüben eingesetzt, welcher im Pflanzenschutzmittel Debut® enthalten ist. Triflursulfuron-Methyl (Herbicide resistance action committee (HRAC) Gruppe: B) weist als Wirkstoff der Gruppe der Sulfonylharnstoffe den gleichen Wirkmechanismus wie die Gruppe der Imidazolinone mit dem Wirkstoff Imazamox (HRAC Gruppe: B) auf, da beide Wirkstoffe am Enzym Acetolactat-Synthase (ALS) binden (BÖRNER, 1995). Dieses Enzym katalysiert die Bildung der wichtigen Aminosäuren Leucin, Isoleucin und Valin in der Pflanze. Durch die Unterbrechung des Syntheseweges kommt es zum Absterben der Pflanze. Es wird mit einer Wirkungsschwäche des Pflanzenschutzmittels Debut® bei der Bekämpfung von Clearfield®-Ausfallraps in Zuckerrüben gerechnet, da dieser Wirkstoff aufgrund der Veränderungen am Zielenzym nicht mehr in vollem Umfang an seinen Wirkort gelangen kann.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsaufbau und Standortwahl

Um einen direkten Vergleich von Nicht-Clearfield®-Raps mit Clearfield®-Raps zu gewährleisten, wurden in einer zweifaktoriellen Anlage zwei Rapsorten (Visby und Experimentalhybride PS122) in zweifacher Wiederholung auf den Versuchsstandorten vor der Aussaat der Zuckerrüben in den Boden mit einer Saatstärke von etwa 5 kg/ha (entsprechend etwa 100 Körner/m²) quer zur späteren Drillrichtung der Zuckerrüben eingearbeitet. Dies geschah an einem Teil der Standorte durch manuelle Ausbringung, an den meisten Standorten jedoch mit einer herkömmlichen Raps- und Getreidesätechnik. Dabei wurde das Rapssaatgut möglichst in unterschiedlichen Tiefen abgelegt und eingearbeitet um ein zeitlich versetztes Auflaufen wie unter natürlichen Bedingungen zu simulieren. Es bestand die Vorgabe, die Versuche auf Standorten ohne vorherigen Rapsanbau durchzuführen, um Effekte durch natürlich vorkommenden Ausfallraps auszuschließen.

Tab. 1 Herbizidvarianten der Standorte in Deutschland, 2011.**Tab. 1** *Herbicide treatments at the locations in Germany, 2011.*

VG	Variante	VA (kg-l/ha)	NAK 1 (kg-l/ha)	NAK 2 (kg-l/ha)	NAK 3 (kg-l/ha)	NAK 4 (kg-l/ha)
1	unbehandelte Kontrolle	-	-	-	-	-
	Betanal® Expert	-	0,75	0,75	1	-
2	Goltix® Gold	2	0,75	0,75	1,5	-
	Oleo FC	0,5	0,5	0,5	0,5	-
	Betanal® Expert	-	0,75	0,75	1	-
	Goltix® Gold	2	0,75	0,75	1,5	-
3	Rebell Ultra	2	0,5	0,5	1	-
	Oleo FC	-	0,5	0,5	0,5	-
	Betanal® Expert	-	0,8	1	1	-
	Goltix® Gold	-	1	1,5	1,5	-
4	Rebell Ultra	-	0,83	0,83	0,83	-
	Oleo FC	-	0,5	0,5	0,5	-
	Betanal® Expert	-	0,8	1	1	-
5	Goltix® Gold	-	1	1,5	1,5	-
	Venzar® 500 SC	-	0,16	0,32	0,48	-
	Betanal® Expert	-	0,8	1	1	-
	Goltix® Gold	-	1	1,5	1,5	-
6	Rebell Ultra	-	0,83	0,83	0,83	-
	Venzar® 500 SC	-	0,16	0,32	0,48	-
	Betanal® Expert	-	0,7	0,7	0,7	0,7
	Goltix® Gold	-	0,3	0,3	0,3	0,3
7	Rebell Ultra	-	-	0,6	0,6	0,6
	Venzar® 500 SC	-	0,16	0,16	0,16	0,16
	Oleo FC	-	0,5	0,5	0,5	0,5
	Betanal® Expert	-	0,8	1	1	-
	Goltix® Gold	-	1	1	1	-
8	Debut®	-	-	0,03	0,03	0,03
	Trend	-	-	0,25	0,25	0,25
	Betanal® Expert	-	0,8	0,8	0,8	-
	Goltix® Gold	-	1	0,5	1	-
9	Debut®	-	-	0,03	0,03	-
	Trend	-	-	0,25	0,25	-
	Venzar® 500 SC	-	-	0,4	0,6	-
10	Beratervariante					

Die Versuche wurden in den beiden Jahren 2010 und 2011 an insgesamt 14 Standorten in Deutschland (4), Polen (6), Rumänien (2) und der Slowakei (2) durchgeführt.

Durch die Beteiligung der verschiedenen Länder sollte eine große Variation an Umweltbedingungen erfasst werden. Die Versuche in Deutschland wurden technisch vom Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ) direkt betreut, die Versuche in den anderen Ländern von den versuchstechnischen

Abteilungen dort ansässiger Zuckerunternehmen. Die Versuche wurden vom IfZ koordiniert und zusammenfassend ausgewertet.

2.2 Pflanzenschutzmittelvarianten

Die Bekämpfung von Unkräutern geschieht in Zuckerrüben in der Regel im Nachauflauf, wobei überwiegend drei Applikationen notwendig sind (ROßBERG et al., 2010; BUHRE et al., 2011b). Beim Auftreten von besonderen Unkräutern sind jedoch auch Anwendungen im Voraufbau (z.B. Bingelkraut) oder die Applikation von vier Nachauflaufbehandlungen (z.B. Raps) nötig. Diese Besonderheiten wurden im Variantenplan einbezogen, indem neben den konventionellen drei Nachauflaufapplikationen (NAK) auch Varianten mit Voraufbauapplikationen und Varianten mit vier Nachauflaufvarianten getestet wurden (Tab. 1). Die in den einzelnen Produkten enthaltenen Wirkstoffe und deren Gehalte können der Tabelle 2 entnommen werden.

Tab. 2 Herbizidprodukte und enthaltende Wirkstoffe.

Tab. 2 *Herbicide products and their active ingredient.*

Produkt	Wirkstoff	Gehalt (g ai/L bzw. kg)
	Desmedipham	25
Betanal® Expert	Ethofumesat	151
	Phenmedipham	75
Goltix® Gold	Metamitron	700
Rebell Ultra	Cloridazon	325
	Quinmerac	100
Venzar® 500 SC	Lenacil	500
Debut®	Triflursulfuron-methyl	500
Trend	Formulierungshilfsstoff	
Oleo FC	Öl/Zusatzstoff	

Neben den Anwendungszeitpunkten wurden die Pflanzenschutzmittel sowie deren Aufwandmengen variiert. In den verschiedenen Ländern wurden die jeweils dort zugelassenen Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Die Variantenpläne wurden bezüglich der eingesetzten Pflanzenschutzmittelmengen so angepasst, dass länderübergreifend für das gleiche Versuchsglied möglichst vergleichbare Wirkstoffmengen appliziert wurden. Dabei wurden in der Regel die zugelassenen Aufwandmengen, wie in Zuckerrüben üblich (ROßBERG et al., 2010), nicht ausgeschöpft. In Tabelle 1 ist der Variantenplan für Deutschland dargestellt.

3. Ergebnisse

3.1 Unkraut- und Rapsbekämpfung

Durch die Ausbringung der im Vergleich zur üblichen Rapssaatstärke eher hohen Ausbringungsmengen wurden in der unbehandelten Kontrolle zusammen mit dem restlichen Unkraut sehr hohe Unkrautdichten mit einem Deckungsgrad von durchschnittlich über 75 % im Mittel aller Standorte erreicht (Abb. 1). Die Versuchsglieder 2 und 3 mit einer Behandlung im Voraufbau und nachfolgend noch drei weiteren Behandlungen im Nachauflauf erzielten im Mittel beider Jahre nur unzureichende Bekämpfungserfolge von 75 % (VG 2) bzw. 83 % (VG 3). Auch das Versuchsglied 4 erzielte mit 81 % eine nicht ausreichende Bekämpfung. Hohe Wirkungsgrade erreichten die Versuchsglieder 5, 6, 7 und 9 mit im Mittel über 96 %. Bei diesen Versuchsgliedern wurden keine Unterschiede zwischen dem Nicht-Clearfield®- und dem Clearfield®-Raps beobachtet. Deutliche Unterschiede bestanden dazu beim Versuchsglied 8. Während der Gesamtwirkungsgrad in der Variante des Clearfield®-Raps nur bei 77 % lag, betrug er beim Nicht-Clearfield®-Raps 88 %. Die durch die Versuchsansteller durchgeführten Beratervarianten (VG 10) führten zu geringen Bekämpfungserfolgen.

Der Unkrautdeckungsgrad des Rapses betrug im Mittel der Standorte 54 % und machte somit 70 % des Gesamtunkrautdeckungsgrades aus. Zwischen dem ausgebrachten Nicht-Clearfield[®]-Raps und dem Clearfield[®]-Raps bestanden dabei keine Unterschiede (Abb. 2). Die bonitierten Wirkungen allein gegenüber dem auflaufenden Raps lagen auf ähnlichem Niveau wie die zuvor beschriebenen Gesamtwirkungen.

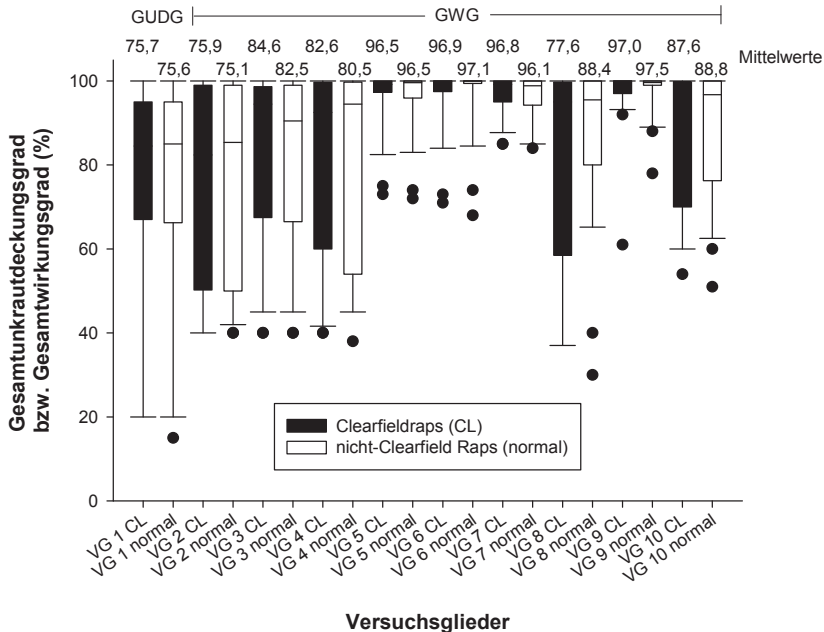


Abb. 1 Gesamtunkrautdeckungsgrad (GUDG) und Gesamtwirkungsgrad (GWG) von Clearfield[®]-Raps (CL) und Nicht-Clearfield[®]-Raps (normal) bei unterschiedlichen Herbizidvarianten (VG). 14 Versuche, 2010-2011.

Fig. 1 Total weed cover (GUDG) and total herbicide efficacy (GWG) of Clearfield[®] oilseed rape (CL) and conventional rape (normal) of different herbicide treatments (VG). 14 trials, 2010-2011.

3.2 Wirkung bezüglich der Spätverunkrautung

In den vier Versuchen in Deutschland wurde in beiden Jahren kurz vor der Ernte der Zuckerrüben eine Bonitur der Spätverunkrautung durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt wurde nicht, wie bei den vorherigen Bonituren, die herbizide Wirkung, sondern der Unkrautdeckungsgrad in den Parzellen geschätzt (Abb. 3). In der unbehandelten Kontrolle (VG 1) betrug der Unkrautdeckungsgrad vor der Ernte der Zuckerrüben in allen Parzellen über 90 % und wurde vom Raps dominiert. In den Versuchsgliedern 2, 3 und 4 wurden kurz vor der Ernte ebenfalls hohe Unkrautdeckungsgrade bonitiert, welche durch die zuvor beschriebenen geringen Wirkungsgrade verursacht waren.

In den Versuchsgliedern 5, 6, 7 und 9 war durch die hohen Wirkungsgrade in den Nachauflaufbehandlungen (NAK) kurz vor der Ernte der Zuckerrüben kein Raps in nennenswertem Umfang vorhanden (Abb. 3). Sehr deutlich war die Unterscheidung zwischen den beiden Rapsorten im Versuchsglied 8. Während der Nicht-Clearfield[®]-Raps ausreichend bekämpft werden konnte, betrug der Unkrautdeckungsgrad beim Clearfield[®]-Raps im Mittel der vier Standorte ca. 60 %.

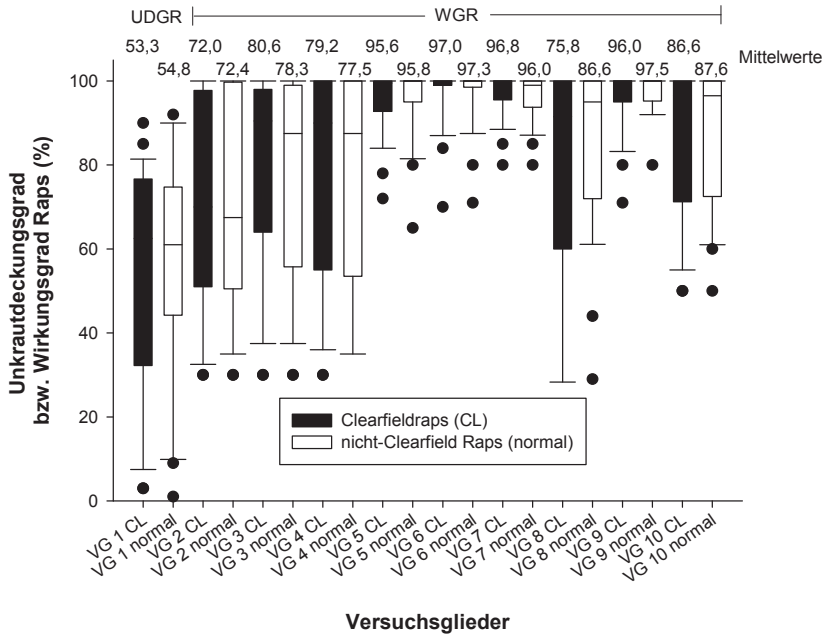


Abb. 2 Unkrautdeckungsgrad Raps (UDGR) und Wirkungsgrad Raps (WGR) von Clearfield®-Raps (CL) und Nicht-Clearfield®-Raps (normal) bei unterschiedlichen Herbizidvarianten. 14 Versuche, 2010-2011.

Fig. 2 Weed cover of rape (UDGR) and herbicide efficacy of rape (WGR) of Clearfield® oilseed rape (CL) and non-Clearfield® oilseed rape (normal) of different herbicide treatments (VG). 14 trials, 2010-2011.

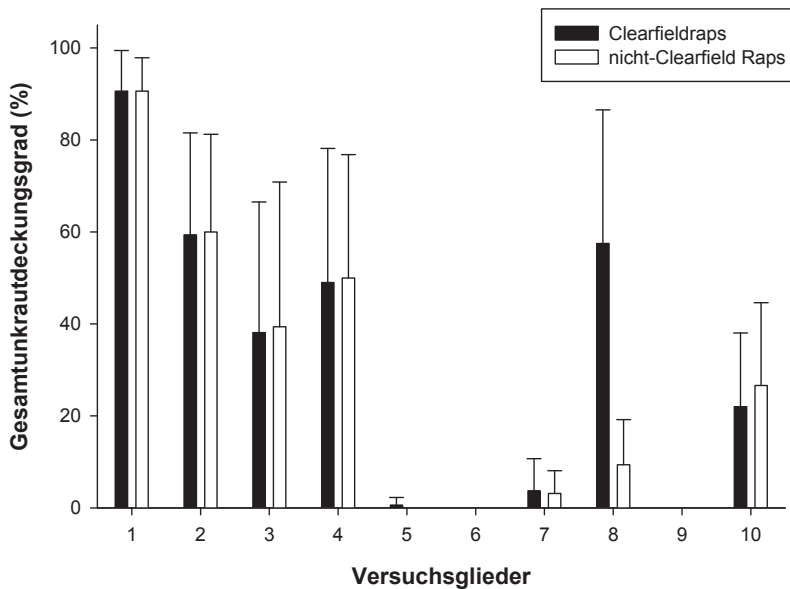


Abb. 3 Gesamtunkrautdeckungsgrad von Clearfield®-Raps und Nicht-Clearfield®-Raps bei unterschiedlichen Herbizidvarianten (VG). 4 Versuche in Deutschland, 2010-2011.

Fig. 3 Total weed cover of Clearfield® oilseed rape and non-Clearfield® oilseed rape of different herbicide treatments (VG). 4 trials in Germany, 2010-2011.

4. Diskussion

4.1 Versuchskonzept

Die Höhe der Unkrautdeckungsgrade von Raps zeigen, dass die Art der Ausbringung vor der Aussaat der Zuckerrüben an den meisten Standorten die beabsichtigte Wirkung erzielte. Die sehr hohen Rapsdeckungsgrade können als relativ praxisnah angesehen werden, da bei der Rapsernte mit Verlusten in Höhe von 2-5 % gerechnet werden kann, welches wiederum einem vielfachen der ausgesäten Pflanzen/m² entspricht (SCHULZ, 2001). Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Ein Auflaufen des Rapses über einen längeren Zeitraum wurde ebenfalls an den meisten Standorten erreicht. Insofern sind die in den Versuchen erzeugten Ausgangsbedingungen vergleichbar zu Situationen mit Ausfallraps in der praktischen Landwirtschaft.

4.2 Bekämpfung von Clearfield®-Ausfallraps in Zuckerrüben

Zwischen den verschiedenen Versuchsgliedern wurden deutliche Unterschiede bezüglich der herbiziden Wirksamkeit beobachtet. Die geringen Bekämpfungserfolge der VG 2 und 3 mit der Behandlung im Voraufbau wurden durch spät auflaufende Unkräuter verursacht, die durch die geringen Aufwandmengen bzw. die fehlenden späteren Behandlungen nicht mehr ausreichend bekämpft wurden. Der alleinige Zusatz des Pflanzenschutzmittels Rebell Ultra zu den Pflanzenschutzmitteln Betanal® Expert und Goltix® Gold im VG 4 führte zu keiner ausreichenden Wirkung. Im VG 8, der bisher in Zuckerrüben gebräuchlichen Bekämpfungsstrategie von Ausfallraps, traten die erwarteten deutlichen Unterschiede bei der Bekämpfung der beiden Rapsarten auf. Durch die Veränderung des Enzyms ALS im Clearfield®-Raps kommt es damit zur verminderten Wirkung des Mittels Debut®, da der Wirkstoff Triflursulfuron-Methyl nicht mehr in vollem Umfang an seinen Wirkort gelangt. Beim Einsatz des Clearfield®-Produktionssystems in Fruchtfolgen mit Zuckerrüben muss der Anbauer damit auf eine veränderte Bekämpfungsstrategie in Form von weiteren Herbizidkombinationen setzen. Die zweijährigen Versuche in den verschiedenen Umwelten zeigten sehr gute Wirkungen gegenüber dem eingesetzten Nicht-Clearfield®-Raps und dem Clearfield®-Raps in den Versuchsgliedern 5, 6, 7 und 9. In diesen Varianten wurde jeweils das Pflanzenschutzmittel Venzar® mit dem Wirkstoff Lenacil eingesetzt. Der Wirkstoff Lenacil (HRAC Gruppe: C1) gehört zur Gruppe der Uracile, welche in ihrer Wirkungsweise im Photosystem II den Elektronentransport unterbrechen. Die Aufnahme geschieht über die Wurzel (TOMLIN, 2006). Pflanzenschutzmittel mit dem Wirkstoff Lenacil befinden sich für die Anwendung in Zuckerrüben in Deutschland im Zulassungsverfahren. Eine Zulassung wäre, nach den bisherigen Versuchsergebnissen, jedoch von Bedeutung um eine sichere Kontrolle des Clearfield®-Rapses erzielen zu können. In den Versuchsgliedern wurden in der Summe über die drei NAK mindestens 0,64 l/ha (entsprechend 320 g/ha Wirkstoff) appliziert. Welche Wirkung geringere Wirkstoffkonzentrationen in Kombination mit weiteren Pflanzenschutzmitteln bzw. Wirkstoffen haben können, wurde in der zweijährigen Serie nicht überprüft. Hierzu müssten in den nächsten Jahren weitere Optimierungsversuche durchgeführt werden.

Literatur

- BÖRNER, H., 1995: UNKRAUTBEKÄMPFUNG. GUSTAV FISCHER VERLAG, JENA.
- BUHRE, C., K. BÜRKCY, F. SCHMITZ, M. SCHULTE UND E. LADEWIG, 2011A: UMFRAGE ZUR PRODUKTIONSTECHNIK 1994-2010 - SACHSTAND UND TRENDS. ZUCKERINDUSTRIE **136**, 670-677.
- BUHRE, C., P. FECKE, F. NELLES, G. SCHLINKER UND E. LADEWIG, 2011B: ENTWICKLUNGEN IM PFLANZENSCHUTZ IN ZUCKERRÜBEN AUS DER UMFRAGE PRODUKTIONSTECHNIK IM VERGLEICH ZUR ERHEBUNG NEPTUN. ZUCKERINDUSTRIE **136**, 742-749.
- DIEPENBROCK, W., G. FISCHBECK, K-U. HEYLAND UND N. KNAUER, 1999: SPEZIELLER PFLANZENBAU. 3. AUFLAGE. VERLAG EUGEN ULMER, STUTTGART.
- LEHRKE, U., 2011: RAPS IN ZUCKERRÜBENFRUCHTFOGEN INTEGRIEREN. ZUCKERRÜBE **4**, 42-45.
- ROßBERG, D., E-H. VASEL UND E. LADEWIG, 2010: NEPTUN 2009 - ZUCKERRÜBE. BERICHTE AUS DEM JULIUS KÜHN-INSTITUT **152**, EIGENVERLAG.
- SCHULZ, R-R., 2001: SAMENVERLUSTE VOR UND WÄHREND DER RAPSERNT. RAPS **19**, 72-75.
- TAN, S., R. R. EVANS, M. L. DAHMER, B. K. SINGH UND D. L. SHANER, 2005: IMIDAZOLINONE-TOLERANT CROPS: HISTORY, CURRENT STATUS AND FUTURE. PEST MANAGEMENT SCIENCE **61**, 246-257.
- TOMLIN, C.D.S. (ED.), 2006: THE PESTICIDE MANUAL. FOURTEENTH EDITION. BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL, HAMPSHIRE.

Schadwirkung von Ausfallraps in Weizen in Abhängigkeit der Unkrautdichte

Competitive effects of volunteer oilseed rape in wheat depending on the weed density

Christoph Krato* & Jan Petersen

University of Applied Sciences Bingen, Fachbereich Life Sciences and Engineering, Berlinstraße 109, D-55411 Bingen (am Rhein)

*Korrespondierender Autor, krato@fh-bingen.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.055

Zusammenfassung

Unkräuter sind ein ertragsmindernder Faktor in der pflanzlichen Produktion. Sie konkurrieren mit der Kulturpflanze um limitierende Faktoren wie Platz, Nährstoffe, Wasser und Licht. In unseren Breiten können auch Kulturpflanzen, insbesondere Raps, als Unkraut in nachgebauten Fruchtfolgegliedern auftreten. Unter anderem wird Ausfallraps in Getreide mit Acetolactatsynthase (ALS)-Inhibitoren erfasst. Durch den Anbau von Clearfield®-Rapsorten wird sich die Ausfallrapskontrolle aufgrund der verminderten ALS-Empfindlichkeit der Ausfallrapspflanzen aber verändern. In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss unterschiedlicher, nicht bekämpfter Ausfallrapsdichten auf Ertrags- und Qualitätsparameter bei Sommer- und Winterweizen untersucht. Signifikant negative Korrelationen wurden für die Parameter Ährenanzahl, Hektolitergewicht und Ertrag ermittelt. Die Parameter Feuchte und Besatz unterlagen einer positiven Korrelation. Das Tausendkorngewicht und der Rohproteingehalt wurden nicht signifikant beeinflusst. Basierend auf einer Regressionsanalyse hatte ein Besatz von einer Ausfallrapspflanze pro m² Ertragsverluste zwischen 0,74 und 1,61 % zur Folge. Durch die Anpassung des Herbizidregimes und der Einhaltung der guten fachlichen Praxis (richtiger Erntetermin, verlustarme Erntetechnik, mechanische Ausfallrapsbekämpfung, Fruchtfolge) sollte Ausfallraps im Allgemeinen und Imidazolinon-toleranter Ausfallraps im Speziellen keine relevanten Ertragsverluste in nachgebauten Getreide hervorrufen.

Stichwörter: Ausfallrapsmanagement, Besatz-Verlust Relation, Clearfield®, Ertragsverlust, Unkrautkonkurrenz

Summary

Weeds are a major factor for yield losses in crop production. They compete with the crop for limiting factors such as space, nutrients, water and light. Crop plants themselves can occur as weeds in crop rotations (e.g. oilseed rape). In general, volunteer oilseed rape in cereals is successfully controlled by acetolactate synthase (ALS) inhibitors. When growing Clearfield® oilseed rape, the control of volunteer oilseed rape plants must be adjusted towards their ALS-tolerance. In the present study, the influence of different oilseed rape densities on yield and quality parameters of spring- and winter wheat was investigated. Significant negative correlations were detected for the parameters heads/m², hectoliter weight and yield. The moisture content and the dockage were subjected to a positive correlation. Based on a non-linear regression analysis, even an infestation with one volunteer plant/m² resulted in a possible yield loss of 0.74 to 1.61 %. We conclude that an adjustment of the herbicide regime along with good farmers' practice (harvest date of oilseed rape, harvest technique, mechanical volunteer control, crop rotation) result in a successful volunteer control. Oilseed rape volunteers in general and Imidazolinone-tolerant volunteers in special will have no relevant impact on yield of subsequent cereals accordingly.

Keywords: Clearfield®, crop-weed competition, volunteer management, yield loss

1. Einleitung

In der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion stehen die angebauten Kulturpflanzen in Konkurrenz zu natürlich vorkommenden Begleitpflanzen. Diese, als Unkräuter bezeichneten Pflanzen, sind innerhalb der Nutzungssysteme unerwünscht (NAYLOR und LUTMAN, 2002). Unkrautkonkurrenz ist einer der wichtigsten biologischen Einflussfaktoren zur Verminderung des Ertrags. Unkräuter verbrauchen Umweltressourcen wie Nährstoffe, Wasser, Licht und Platz, die eigentlich den Kulturpflanzen zur Verfügung stehen sollen. In unterschiedlichen Studien hat sich gezeigt, dass Unkräuter, die zeitgleich mit der Kulturpflanze oder kurz danach auflaufen, höhere Ertragsverluste hervorrufen können, als Unkräuter, die zu einem späteren Entwicklungsstadium keimen (KROPF, 1988; SWANTON et al., 1999). Ertragsverluste durch Unkräuter sind für alle bedeutenden, weltweit

angebauten Kulturen, messbar. In Zuckerrüben werden die höchsten Ertragsverluste von bis zu 95 % durch sehr wüchsige Unkräuter wie *Sinapis arvensis* und *Chenopodium album* verursacht. Ein Besatz mit *Galium aparine* im Rapsanbau führt vor allem zu einer Erschwerung der Ernte und einer Verminderung der Qualität des Erntegutes. Darüber hinaus können hohe Besatzdichten monokotyle Unkräuter zu Ertragsinbußen zwischen 16 und 78 % führen (FROUD-WILLIAMS, 2002). Der jährliche Ertragsverlust für Getreide, verursacht durch *Avena* spp., wurde beispielsweise auf ca. 2,7 Mio t geschätzt (FROUD-WILLIAMS, 1999). Ein Ertragsverlust zwischen 3 und 30 % wurde für Winterweizen bei Besatz mit *Aegilops cylindrica* ermittelt (YOUNG et al., 2000).

Auch Kulturpflanzen können in Folgegliedern der Fruchtfolge als Unkräuter bzw. Ungräser auftreten. Diesbezüglich besitzt besonders Raps aufgrund seiner Populationsdynamik ein hohes Potential. Vor und während der Rapsernte entstehen unvermeidliche Samenverluste, die sich auf eine Menge von 107 kg/ha bzw. 5,9 % der geernteten Samenmenge belaufen können. Dies entspricht einem durchschnittlichen Sameneintrag von 3000 Samen/m² (GULDEN et al., 2003). Diese Samen können in den nachfolgenden Kulturen als Ausfallraps auflaufen und bei mangelnder Kontrolle kulturschädigend sein. Mit der europaweiten Einführung Imidazolinon-toleranter Winterrapssorten kann die altbekannte Ausfallrapsproblematik neue Relevanz erhalten, wenn die partielle Kreuzresistenz der Ausfallrapspflanzen gegenüber ALS-Inhibitoren nicht beachtet wird.

Modelle zur Beschreibung des Konkurrenzverhältnisses zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern sind essentiell, um die ökonomische Notwendigkeit eines Herbizideinsatzes zu bewerten. Ein grundlegendes Entscheidungskriterium bildet dabei das Wissen über die mögliche Schadwirkung eines Unkrautbesatzes im Kulturpflanzenbestand (COUSENS, 1985). Um den negativen Einfluss von Ausfallraps auf Ertrags- und Qualitätsparameter des Getreides zu untersuchen, wurden zweijährige Feldversuche an der Fachhochschule Bingen durchgeführt.

2. Material und Methoden

2.1 Besatz-Verlust Relation

Die Winterweizensorte (WW) ‚JB Asano‘ wurde am 22. September 2009 und 2010, die Sommerweizensorte (SW) ‚Kadrij‘ am 18 März 2009 bzw. am 08 März 2010 auf Ackerflächen in Bingen ausgesät (89 m ü.N.N., 9,9 °C, 548 mm, Bodenart sL). Das Saatgut wurde mit einer Praxissämaschine (Typ: Amazone Drillstar RP AD 302, Doppelscheibenschar) ausgebracht. Die Körner wurden mit einer Dichte von 300 Körnern/m² in eine Tiefe von 3 bis 4 cm abgelegt. Der Reihenabstand betrug 12,5 cm. Die Vorfrüchte waren Mais (WW) und Winterweizen (SW). Die Bodenbearbeitung vor der Saat wurde pfluglos durchgeführt. Rapsamen wurden mit einer Parzellensämaschine (Typ: Hege 500, Doppelscheibenschar) direkt in die Kultur gesät (am Tag der Weizenaussaat), um einen Besatz mit Ausfallraps zu simulieren. Die Rapsamen wurden in eine Tiefe von 2 cm abgelegt. Der Reihenabstand war ebenfalls 12,5 cm. Im Versuchsjahr 2009 wurden die Rapsamen mit einer ansteigenden Dichte von 0, 5, 10, 20, 40, 80 und 160 Körner/m² gesät. Im zweiten Versuchsjahr wurde eine zusätzliche Variante mit 320 Körnern/m² eingerichtet. Verwendete Rapsorten waren: ‚CL_OSR_0004‘ (homozygot imidazolinon-tolerant) als Winterraps (WR) in Winterweizen und Sommerweizen in 2009, ‚Campino‘ als Sommerraps (SR) in Sommerweizen in 2009, ‚CL_OSR_0002‘ (homozygot Imidazolinon-tolerant) als Winterraps in Winterweizen und Sommerweizen in 2010 und ‚Salsa_CL‘ (homozygot Imidazolinon-tolerant) als Sommerraps in Sommerweizen in 2010. Alle Rapsorten wurden von BASF SE Limburgerhof zur Verfügung gestellt. Die Versuche wurden als randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen angelegt. Zu Beginn der Versuche wurde jeweils Schneckenkorn (Wirkstoff Metaldehyd) mit 3 kg/ha ausgebracht. Zur Ausschaltung der Unkrautbegleitflora in den Versuchspartellen wurden verschiedene Herbizidmaßnahmen durchgeführt. Verwendet wurden die Wirkstoffe Tribenuron und Pinoxaden im Winterweizen sowie Picloram, Clopyralid, Metsulfuron und Thifensulfuron im Sommerweizen. Aufgrund der partiellen Kreuzresistenz Imidazolinon-toleranter Rapsorten gegen ALS-Inhibitoren konnte eine Verträglichkeit der Herbizide bei den Ausfallrapspflanzen gewährleistet werden. Die Applikation der Herbizide erfolgte mit einer Parzellenspritze ‚Agrotop‘ (Airmix 110-025 Flachstrahldüse) mit einem Druck von 210 kPa, einer Wassermenge von 200 l/ha und einer Geschwindigkeit von 4,5 km/h. Das Unkraut *Chenopodium*

album konnte mit den Herbizidmaßnahmen im Sommerweizen nicht kontrolliert werden und wurde deshalb per Hand aus den Parzellen entfernt. Die jährliche Flächendüngung betrug 180 kg N/ha.

2.2 Herbizidversuch zur Ausfallrapskontrolle in Winterweizen

Im Versuchsjahr 2010/2011 wurde ein Herbizidversuch zur Ausfallrapskontrolle in Winterweizen durchgeführt. Auch hier wurde die Winterweizensorte 'JB Asano' verwendet und zu zwei Terminen (22.09.2010 und 06.10.2010) auf einer Ackerfläche in Bingen ausgesät (89 m ü.N.N., 9,9 °C, 548 mm, Bodenart sL). Imidazolinon-toleranter (IT) und Imidazolinon-empfindlicher (IS) Ausfallrap wurde mit 100 Körnern/m² in die Kultur gesät. Die verwendete Saattechnik entsprach der in Abschnitt 2.1 beschriebenen. Zur Ausfallrapbekämpfung wurden insgesamt 13 verschiedene Herbizidvarianten durchgeführt (Tab. 1). Die Applikationstechnik entsprach ebenfalls der in Abschnitt 2.1 beschriebenen.

Tab. 1 Herbizidvarianten zur Kontrolle von IS- und IT-Ausfallrap in Winterweizen (Bingen 2010-11).

Tab. 1 *Herbicide treatments to control IS- and IT-volunteer oilseed rape in winter wheat (Bingen 2010-11).*

Herbizid	Wirkstoff	Aufwandmenge	
		Produkt [kg,l/ha]	Applikations- zeitpunkt
Unbehandelt	-	-	-
Picon + IPU	Pendimethalin, Picolinafen, IPU	2,5+1,5	BBCH 11-12
Stomp Aqua + Lexus	Pendimethalin, Flupyrsulfuron	2,5+0,02	BBCH 11-12
Falcon	Penoxsulam, Diflufenikan	1,0	BBCH 11-12
Primus	Florasulam	0,15	BBCH 11-12
Lexus	Flupyrsulfuron	0,02	BBCH 11-12
Herold	Diflufenikan, Flufenacet	0,6	BBCH 11-12
Pico	Picolinafen	0,13	BBCH 11-12
Bacara Forte	Diflufenikan, Flufenacet, Flurtamone	1,0	BBCH 11-12
Biathlon	Tritosulfuron	0,07	Start Vegetation
BAS 812 H	Tritosulfuron, Florasulam	0,07+0,15	Start Vegetation
Attribut	Propoxycarbazone	0,1	Start Vegetation
Basagran DP	Bentazon, Dichlorprop-p	3,0	Start Vegetation

2.3 Datenerhebung und Auswertung

Die Ausfallrapsdichte wurde in allen Versuchen mit drei Pseudowiederholungen pro Parzelle bestimmt. Die erfassten Dichten wurden für die weitere statistische Auswertung verwendet. In den Besatz-Verlust Versuchen wurde die Anzahl der Ähren pro m² ebenfalls mit drei Pseudowiederholungen pro Parzelle kurz vor der Ernte gezählt. Alle Zählungen wurden mit einem Göttinger Zählrahmen (0,25 m²) durchgeführt. Die Feldversuche wurden unter Verwendung eines Parzellenmähdreschers (Typ Hege 140) geerntet. Die Erntezeitpunkte der Besatz-Verlust Versuche waren der 20.07.2010 bzw. 12.07.2011 für Winterweizen und der 02.08.2011 bzw. 01.08.2011 für Sommerweizen. Der Herbizidversuch wurde am 12.07.2011 (früher Saattermin WW) bzw. am 15.07.2011 (später Saattermin WW) beerntet. Der prozentuale Besatz der Ernteguts wurde mit einer Probenreinigungsanlage (Sample cleaner SLN, Rationel Kornservice, Dänemark) bestimmt. Die Feuchte des Erntegutes wurde für eine Teilmischprobe pro Parzelle durch Einlagerung in einen Trockenschrank (48 h, 100 °C) ermittelt. Drei Pseudowiederholungen à 200 Körner wurden pro Parzelle gewogen, um das Tausendkorngewicht zu berechnen. Als Qualitätsparameter wurden das Hektolitergewicht mit einem Getreideprober (Kern 822.403) und der Rohproteingehalt unter Anwendung eines Inframatic 8100 (Fa. Perten) für eine Teilmischprobe pro Parzelle erfasst.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit SigmaPlot 11.0 (Sysstat Software, Inc). Die Daten

wurden auf Normalverteilung (Shapiro-Wilks) und Varianzhomogenität geprüft. Um einen Zusammenhang zwischen der Ausfallrapsdichte und den erfassten Ertrags- und Qualitätsparametern zu überprüfen, wurden Pearsonsche Produkt-Moment Korrelationen bzw. Rangkorrelationen nach Spearman durchgeführt. Der Ertragsverlust des Getreides in Abhängigkeit der Ausfallrapsdichte wurde unter Verwendung einer hyperbolischen Funktion nach COUSENS (1985) kalkuliert:

$$f = (a \cdot x) / (1 + (a \cdot x / b))$$

f = Ertragsverlust

a = Ertragsverlust wenn $x \rightarrow 0$

X = Ausfallrapsdichte

b = Ertragsverlust wenn $x \rightarrow \infty$

Die Ertragsdaten des Herbizidversuchs wurden, getrennt nach Saatzeitpunkt Winterweizen und Rapsgenotyp, mit einer einfaktorien Varianzanalyse, gefolgt von multiplen Mittelwertvergleichen nach Tukey ($\alpha = 0,05$) ausgewertet. Eine Kennzeichnung signifikanter Unterschiede erfolgte durch Kleinbuchstaben. Unterschiede zwischen den Rapsgenotypen innerhalb der Datenkombination Herbizidbehandlung x Saatzeitpunkt Winterweizen wurden mit einem t-test ($\alpha = 0,05$) ermittelt. Signifikante Unterschiede wurden fett markiert.

3. Ergebnisse

3.1 Besatz-Verlust Relation

Die tatsächliche Ausfallrapsmenge lag in den Versuchen generell unter dem Niveau der ausgebrachten Samenmenge (Differenz 12-41 %). Ein ausreichender Besatz konnte aber etabliert werden. Ausnahme bildete der Versuch WW x WR 2009/2010. Durch einen sehr starken Schneckenbefall, sowohl nach dem Auflaufen als auch im Frühjahr, wurde die Ausfallrapsdichte signifikant dezimiert. Nach Vegetationsstart 2010 wurden, verglichen mit den Saatstärken, nur $0,5 \pm 1,9$; $0,5 \pm 1$; $2 \pm 1,3$; $4,5 \pm 5,4$; $9,5 \pm 6$ und $31,5 \pm 12,2$ Rapspflanzen/m² gezählt. Für diesen Versuch konnte eine Korrelation ausschließlich für den Parameter Ertrag nachgewiesen werden ($r = -0,57$). Zwischen den anderen Parametern und der Ausfallrapsdichte konnten keine signifikanten Beziehungen ermittelt werden. Generell lässt sich festhalten, dass die Ährenanzahl, das Hektolitergewicht sowie der Ertrag negativen Korrelationen mit der Ausfallrapsdichte unterlagen (Tab. 2).

Tab. 2 Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Einflussvariable 'Ausfallrapsdichte' und die erfassten Zielvariablen.

Tab. 2 Correlation coefficients for the relationship between the independent variable 'volunteer density' and the different depending variables.

Versuch	Ähren/m ²	Feuchte- gehalt [%]	Besatz [%]	hl [kg]	TKG [g]	Rohprotein [%]	Ertrag [dt/ha]
WW x WR	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,57**
SW x WR	-0,9***	0,77***	0,48*	-0,55*	0,56**	-0,74***	-0,82***
SW x SR	-0,82***	0,78***	0,75***	0,74***	n.s.	-0,65***	-0,48*
WW x WR	-0,97***	0,46**	0,75***	-0,66***	n.s.	n.s.	-0,95***
SW x WR	-0,83***	0,63***	0,47**	-0,46**	n.s.	n.s.	-0,84***
SW x SR	-0,83***	0,9***	0,82***	-0,66***	n.s.	-0,4*	-0,51**

n.s. = nicht signifikant, * = signifikant ($p < 0,05$), ** = hoch signifikant ($p < 0,01$), *** = höchst signifikant ($p < 0,001$), WW = Winterweizen, SW = Sommerweizen, WR = Winterraps, SR = Sommerraps, hl = Hektolitergewicht, TKG = Tausendkorngewicht

Die Parameter nahmen ab, sobald die Einflussvariable Ausfallrapsdichte zunahm. Für die Parameter Feuchtegehalt und Besatz zeigten sich positive Korrelationen zwischen Einfluss- und Zielvariable. Das Tausendkorngewicht stieg nur im Versuchsjahr 2010 für die Kombination SW x WR mit zunehmender

Ausfallrapsdichte signifikant an. Hatte der Sommerweizen ohne Unkrautkonkurrenz ein mittleres Tausendkorngewicht von 36,3 g, stieg der Wert bei einer Ausfallrapsdichte von 90 Pflanzen/m² auf 39 g. Für den Parameter Rohproteingehalt waren die Daten recht indifferent. Nur in drei von sechs Fällen konnte eine signifikante Abnahme des Rohproteingehaltes nachgewiesen werden.

Mit dem Datensatz WW x WR 2009/2010 konnte keine Regressionsanalyse durchgeführt werden. Aufgrund des Schneckenfraßes waren die Ausfallrapspflanzen in ihrem Wachstum und ihrer Konkurrenzkraft stark gehemmt. Der mittlere Ertrag in den besatzfreien Kontrollparzellen lag bei 110,8 ± 5,7 dt/ha. Ein leichter Ertragsverlust von 4 bzw. 10 % zeigte sich erst in den zwei Varianten mit der höchsten Ausfallrapsdichte. Mit den fünf weiteren Datensätzen war eine statistische Auswertung möglich (Tab. 3). Die Anpassung der Kurven erfolgte dabei mit unterschiedlicher Güte, repräsentiert durch die differierenden Bestimmtheitsmaße. Die niedrigen Werte 0,24 für SW x SR 2010 und 0,38 für SW x SR 2011 waren bedingt durch eine hohe Streubreite der Ertragsdaten. Zum Beispiel variierte der Ertragsverlust bei einer mittleren Dichte von 17 Ausfallrapspflanzen/m² zwischen -4,7 bis 13,3 %. Bei einem Besatz mit Wintereraps waren die Ertragsdaten wesentlich einheitlicher. Für die verschiedenen Weizen- und Rapsorten zeigten sich Konkurrenz- und Kompensationsunterschiede (Abb. 1). Der deutlichste Ertragseffekt wurde durch einen Besatz mit Wintereraps in Winterweizen hervorgerufen.

Tab. 3 Parameter der Besatz-Verlust Relation nach COUSENS (1984). Verwendet wurden die relativen Ertragsdaten der Feldversuche.

Tab. 3 Parameters of the non-linear regression analysis after COUSENS (1984). Relative yield data from the field trials was used.

Versuch	a	SE	b	SE	r ²
WW x WR	-	-	-	-	-
SW x WR	1,44	0,49	70,34	22,27	0,72
SW x SR	0,76	0,52	24,01	10,98	0,24
WW x WR	1,64	0,24	80,88	5,77	0,91
SW x WR	1,32	0,34	73,92	14,81	0,85
SW x SR	0,79	0,36	45,49	18,07	0,38

a = Ertragsverlust wenn X = 0; b = Ertragsverlust wenn x = ∞; SE = Standardfehler;
 r² = Bestimmtheitsmaß, WW = Winterweizen, SW = Sommerweizen, WR = Wintereraps, SR = Sommereraps

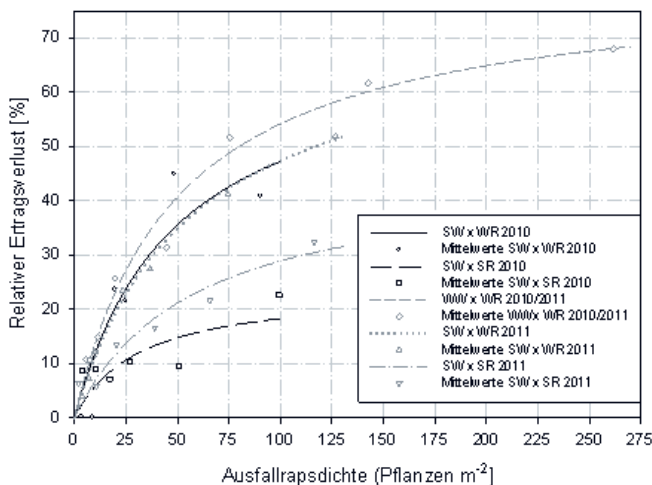


Abb. 2 Relativer Ertragsverlust von Sommer- und Winterweizen in Abhängigkeit der Ausfallrapsdichte.

Fig. 2 Relative yield loss of spring- and winter wheat depending on the volunteer density.

3.2 Herbizidversuch zur Ausfallrapskontrolle in Winterweizen

Jede Herbizidvariante führte zu einer Ertragserrhöhung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Der mittlere Ertrag in unbehandelten Weizenparzellen der frühen Saat betrug 32 ± 8 dt ha⁻¹ bei einem Besatz von 73,8 Ausfallrapspflanzen/m². Durch die chemische Bekämpfung konnte eine Ertragsdifferenz zwischen 16 (Basagran DP) und 118 % (Picono + IPU) erreicht werden. Das Ertragsniveau innerhalb der Herbizidvarianten war, speziell im früh gesäten Weizen, von einer hohen Variabilität gekennzeichnet (Tab. 4). Die Spannweite der Ertragsdaten erstreckte sich von 28 dt/ha bis 71 dt/ha. Die Herbizide Falcon, Attribut und Basagran DP zeigten eine Wirkungslücke gegen *Papaver rhoeas*. Ein zusätzlicher Ertragseffekt kann hier nicht ausgeschlossen werden. Ein leichter Unterschied in der Konkurrenzkraft der Rapsorten kann anhand der Daten aus den unbehandelten Kontrollparzellen abgeleitet werden. Der Weizenertrag bei Besatz mit IT Ausfallraps lag 4 bzw. 6 dt/ha höher im Vergleich zu IS Ausfallraps.

Oftmals war der Ertrag in Parzellen mit IS Ausfallraps etwas höher im Vergleich zu Parzellen mit IT Ausfallraps. Besonders deutlich war dies in Parzellen, die mit dem Herbizid Lexus behandelt wurden. Der Unterschied konnte als statistisch signifikant abgesichert werden. Tendenziell wurden in der früheren Weizensaat höhere Erträge erzielt. Die Ausfallrapspflanzen haben im Verlauf der Vegetationsperiode ein hohes Regenerationspotential gezeigt, wenn sie nicht mit sehr hohen Wirkungsgraden bekämpft wurden. Die Rapspflanzen waren in der Lage im Winterweizen zu blühen und keimfähige Samen auszubilden.

Tab. 4 Winterweizenertrag [dt/ha] in Abhängigkeit des Saattermins, der Herbizidbehandlung und der Ausfallrapsdichte (Ertragsdaten als Mittelwert \pm Standardabweichung, Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede).

Tab. 4 Yield of winter wheat [dt/ha] depending on the sowing date, herbicide treatment and density of volunteer oilseed rape (yield as mean \pm standard deviation, significant differences are indicated using small letters).

Herbizidbehandlung	FRÜHER SAATTERMIN				SPÄTER SAATTERMIN			
	IS Ausfallraps		IT Ausfallraps		IS Ausfallraps		IT Ausfallraps	
	Dichte /m ²	Ertrag [dt /ha]	Dichte /m ²	Ertrag [dt /ha]	Dichte /m ²	Ertrag [dt /ha]	Dichte /m ²	Ertrag [dt /ha]
Unbehandelt	81,3	28 \pm (2) ^e	73,8	32 \pm (8) ^d	53,8	29 \pm (4) ^a	55,1	35 \pm (4) ^a
Picono + IPU (H)	0,2	69 \pm (4) ^{ab}	0	71 \pm (4) ^a	0	62 \pm (10) ^b	0	58 \pm (5) ^a
Stomp Aqua + Lexus (H)	0	70 \pm (4) ^a	14,7	66 \pm (5) ^{abc}	0,1	61 \pm (6) ^b	3,1	59 \pm (12) ^a
Falcon (H)	0,1	68 \pm (3) ^{ab}	16,9	65 \pm (9) ^{abc}	0	59 \pm (4) ^b	1,3	56 \pm (7) ^a
Primus (H)	0	66 \pm (4) ^{abc}	0,1	68 \pm (5) ^{ab}	0	61 \pm (9) ^b	1,4	58 \pm (5) ^a
Lexus (H)	0,1	70\pm(5)^a	43,1	53\pm(7)^{abcd}	0	66\pm(8)^b	40,4	50\pm(5)^a
Herold (H)	22,2	64 \pm (7) ^{abc}	10,7	67 \pm (3) ^{abc}	1,9	61 \pm (4) ^b	0,5	60 \pm (11) ^a
Pico (H)	19,6	61 \pm (2) ^{abc}	14,2	68 \pm (6) ^{ab}	2,3	63 \pm (7) ^b	0	64 \pm (6) ^a
Bacara Forte (H)	9,8	69 \pm (4) ^{ab}	3,1	71 \pm (1) ^a	1	61 \pm (5) ^b	0,4	58 \pm (8) ^a
Biathlon (F)	0,1	44 \pm (12) ^{de}	23,6	49 \pm (12) ^{abcd}	0	59 \pm (5) ^b	3,6	54 \pm (14) ^a
BAS 812 H (F)	0	54 \pm (4) ^{bcd}	35,5	44 \pm (16) ^{bcd}	0	56 \pm (3) ^b	16,4	52 \pm (5) ^a
Attribut (F)	0	51 \pm (5) ^{cd}	32,9	42 \pm (12) ^{cd}	0	54 \pm (2) ^b	16,4	45 \pm (9) ^a
Basagran DP (F)	31,6	36 \pm (2) ^{de}	29,3	37 \pm (13) ^d	0,4	49 \pm (6) ^b	0,1	45 \pm (11) ^a

H = Herbstbehandlung (BBCH 11-12), F = Frühjahrsbehandlung (Start Vegetation)

4. Diskussion

Ausfallraps kann in Folgefrüchten ein sehr relevantes Unkraut sein. Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass nicht kontrollierter Ausfallraps zu signifikanten Ertragsverlusten führen kann. KARIM (2000) zeigte in Feldversuchen, dass Ausfallraps die Sprossfrischmasse von Weizen und Gerste signifikant verringern kann. PALLUTT (1995) schätzte einen potentiellen Ertragsverlust in Getreide von 10-20 kg/ha bei Besatz mit einer Rapspflanze pro m². Diese Schätzungen können bestätigt werden. Teilweise zeigten sich sogar noch höhere Verluste. Auf Basis der Regressionsanalyse lag der Ertragsverlust in den vorliegenden Versuchen zwischen 0,74 (26,3 kg/ha) und 1,61 % (147,3 kg/ha) bei einer Rapspflanze pro m². Die Konkurrenzkraft gegenüber Ausfallraps hängt maßgeblich von der angebauten Kultur ab (GRUBER und CLAUPEIN, 2008). Darüber hinaus konnte in unseren Versuchen gezeigt werden, dass die Rapsorte ebenfalls einen Einfluss hat, wobei in den europäischen Anbausystemen vornehmlich Winterraps auftritt. Als Haupteffekt eines Ausfallrapsbesatzes ist eine Konkurrenz um Wuchsraum und die damit einhergehende Reduktion der Bestockung beim Weizen anzusehen. Bestätigt wird dies durch eine Verminderung der Ährenanzahl. Es konnte weiterhin beobachtet werden, dass Getreidepflanzen unter großem Konkurrenzdruck, verglichen mit konkurrenzlosen Pflanzen, eine erhöhte Anzahl Körner pro Ähre bildeten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Nebentriebbildung vermindert und die Ertragsphysiologie zugunsten der Haupttriebe verschoben wird. Diese Verschiebung reicht zur Kompensation der Ertragsverluste nicht aus.

Durch die europaweite Einführung von Imidazolinon-tolerantem Winterraps (Clearfield®) wird sich das Ausfallrapsmanagement verändern. Durch zwei unabhängige Punktmutationen im ALS-Gen besitzen die Rapspflanzen eine Toleranz gegen Imidazolinone, ergänzt durch eine partielle Kreuzresistenz gegenüber den anderen chemischen Wirkstoffklassen der ALS-Inhibitoren (TAN et al., 2005). Die Erfassung des Ausfallrapses durch Sulfonylharnstoffe wird in nachgebautem Getreide nur eingeschränkt möglich sein. Herbizidstrategien müssen dementsprechend angepasst werden. Eine Kontrolle des Imidazolinon-toleranten Ausfallrapses sollte aber mit Wirkstoffen außerhalb der Wirkstoffgruppe HRAC B möglich sein. BECKIE et al. (2004) haben gezeigt, dass Imidazolinon-toleranter Raps verglichen mit nicht-tolerantem Raps dieselbe Sensitivität gegenüber den Wirkstoffen 2,4-D, MCPA und Metribuzin aufwies. Unsere Versuchsergebnisse bestätigen eine erfolgreiche Kontrolle mit alternativen Herbiziden. LIU et al. (2009) postulieren, unter der Annahme, dass natürliche Ressourcen zu Beginn der Konkurrenzperiode zwischen Kulturpflanze und Unkraut nicht limitierend wirken, dass ein Konkurrenznachteil durch das Einwirken von R:FR (red to far-red) Signalen vom Unkraut zur Kulturpflanze sehr früh manifestiert wird. Daher sollte die Bekämpfung von Unkräutern immer im frühen Nachauflauf erfolgen, um Ertragsschäden so gering wie möglich zu halten. Dies zeigte sich auch im Herbizidversuch in früh gesättem Weizen. Eine chemische Bekämpfung mit hohen Wirkungsgraden, auch bei geringem Ausfallrapsaufkommen, ist in jedem Fall anzustreben um eine Samenbildung der Rapspflanzen zu verhindern.

Der wichtigste Baustein des Ausfallrapsmanagements bleibt aber die vorbeugende Kontrolle mit pflanzenbaulichen Mitteln. Der hohe Verlust von durchschnittlich 3500 Rapsamen/m² während der Ernte (GRUBER et al., 2004; LUTMAN et al., 2005) und die Neigung zu sekundärer Dormanz, induziert vor allem durch Lichtabschluss, Wasser- und Sauerstoffmangel (LOPEZ-GRANADOS und LUTMAN, 1998) bedingen die Entstehung einer Rapsamenbank, die überaus persistent sein kann (SIMARD et al., 2002). Im Boden sind Ausfallrapssamen mehr als 10 Jahre lebensfähig (SCHLINK, 1998). Daher sollte bei der Bearbeitung der Rapsstoppel auf den Pflugeinsatz verzichtet werden. Vielmehr sollten die Rapsamen für einen längeren Zeitraum auf der unbearbeiteten Stoppel belassen werden um eine Keimung anzuregen. Eine flache, mehrmalige Bodenbearbeitung sollte dann folgen (PEKRUN et al., 1998; GRUBER et al., 2005). Aufgrund steigender Anforderungen an die Produktivität werden vermehrt sehr enge Fruchtfolgen etabliert. Die Erhöhung der Fruchtfolgeglieder kann sich aber positiv auf das Ausfallrapsvorkommen auswirken (SÖCHTING et al., 2008). Speziell in Fruchtfolgen, die sowohl Raps als auch Zuckerrüben enthalten, sollten entsprechende Anbaupausen eingehalten werden. Dies ist im Hinblick auf Fruchtfolgekrankheiten (Nematoden, Kohlhernie) besonders relevant. Unter Anwendung der guten fachlichen Praxis (richtiger Erntetermin, verlustarme Erntetechnik, mechanische

Ausfallrapsbekämpfung, Fruchtfolge) sollte Ausfallraps im Allgemeinen und Imidazolinon-toleranter Ausfallraps im Speziellen keine relevanten Ertragsverluste in nachgebautem Getreide hervorrufen.

Literatur

- BECKIE, H.J., G. SEGIUN-SWARTZ, H. NAIR, S.I. WARWICK UND E. JOHNSON, 2004: MULTIPLE HERBICIDE-RESISTANT CANOLA CAN BE CONTROLLED BY ALTERNATIVE HERBICIDES. *WEED SCIENCE* **52**, 152-157.
- COUSENS, R. 1985: A SIMPLE MODEL RELATING YIELD LOSS TO WEED DENSITY. *ANNALS OF APPLIED BIOLOGY* **107**, 239-252.
- FROUD-WILLIAMS, R.J., 1999: WHEAT YIELD AS AFFECTED BY WEEDS. IN: SATORRE, E.H., G.A. SLAFER (EDS.), 1999: WHEAT: ECOLOGY AND PHYSIOLOGY OF YIELD DETERMINATION, PP. 161-182. FOOD PRODUCTS PRESS: BINGHAMTON, NY.
- FROUD-WILLIAMS, R.J., 2002: WEED COMPETITION. IN: NAYLOR, R.E.L. (ED.), 2002: WEED MANAGEMENT HANDBOOK, PP.16-38. BLACKWELL PUBLISHING, OXFORD.
- GULDEN, R.H., S.J. SHIRTLIFFE UND A.G. THOMAS, 2003: HARVEST LOSSES OF CANOLA (*BRASSICA NAPUS*) CAUSE LARGE SEEDBANK INPUTS. *WEED SCIENCE* **51**, 83-86.
- GRUBER, S., C. PEKRUN UND W. CLAUPEIN, 2004: REDUCING OILSEED RAPE VOLUNTEERS BY SELECTING GENOTYPES WITH LOW SEED PERSISTENCE. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION SPECIAL ISSUE XIX*, 151-159.
- GRUBER, S., C. PEKRUN UND W. CLAUPEIN, 2005: LIFE CYCLE AND POTENTIAL GENE FLOW OF VOLUNTEER OILSEED RAPE IN DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS. *WEED RESEARCH* **45**, 83-93.
- GRUBER, S. UND W. CLAUPEIN, 2008: EMERGENCE AND ESTABLISHMENT OF VOLUNTEER OILSEED RAPE IN SPRING AND WINTER CROPS. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION SPECIAL ISSUE XIX*, 151-159.
- KARIM, S.M.R., 2000: COMPETITIVE ABILITY OF VOLUNTEER CROPS GROWN AS WEEDS. *PAKISTAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH* **16**, 142-146
- KROPF, M.J., 1988: MODELLING THE EFFECTS OF WEEDS ON CROPS PRODUCTION. *WEED RESEARCH* **28**, 465-471.
- LOPEZ-GRANADOS F. UND P.J.W. LUTMAN, 1998: EFFECT OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON THE DORMANCY AND GERMINATION OF VOLUNTEER OILSEED RAPE SEEDS. *WEED SCIENCE* **46**, 419-423.
- LUTMAN P.J.W., K. BERRY, R.W. PAYNE, E. SIMPSON, J.B. SWEET, G.T. CHAMPION, M.J. MAY, P. WIGHTMAN, K. WALKER UND M. LAINSBURY, 2005: PERSISTENCE OF SEEDS FROM CROPS OF CONVENTIONAL AND HERBICIDE TOLERANT OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*). *PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B. BIOLOGICAL SCIENCES* **272**, No. 1575, 1909-1915.
- LIU, J.G., K.J. MAHONEY, P.H. SIKKEMA UND C.J. SWANTON, 2009: THE IMPORTANCE OF LIGHT QUALITY IN CROP-WEED COMPETITION. *WEED RESEARCH* **49**, 217-224.
- NAYLOR, R.E.L. UND P.L. LUTMAN, 2002: WHAT IS A WEED? IN: NAYLOR, R.E.L. (ED.), 2002: WEED MANAGEMENT HANDBOOK, PP.1-15. BLACKWELL PUBLISHING, OXFORD.
- PALLUTT, B., (1995): ZUR WIRTSCHAFTLICHKEIT DES HERBIZIDEINSATZES. *GETREIDE* **3**, 20-22.
- PEKRUN C., P.J.W. LUTMAN UND K. BAEUMER, 1998: RESEARCH ON VOLUNTEER RAPE: A REVIEW. *PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN* **2**, 84-90.
- SIMARD, M.-J., A. LEGERE, D. PAGEAU, J. LAJEUNESSE UND S. WARWICK, 2002: THE FREQUENCY AND PERSISTENCE OF VOLUNTEER CANOLA (*BRASSICA NAPUS*) IN QUEBEC CROPPING SYSTEMS. *WEED TECHNOLOGY* **16**, 433-439.
- SWANTON, C.J., S. WEAVER, P. COWAN, R. VAN ACKER, W. DEEN UND A. SHERESTHA, 1999: WEED THRESHOLDS: THEORY AND APPLICABILITY. *JOURNAL OF CROP PRODUCTION* **2**, 9-29.
- SCHLINK, S., 1998: 10 YEARS SURVIVAL OF RAPE SEED (*BRASSICA NAPUS* L.) IN SOIL. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION SPECIAL ISSUE XVI*, 169-172.
- SÖCHTING, H.P., A. GUMMERT UND P. ZWERGER, 2008: AUFLAUFDYNAMIK UND WACHSTUMSVERLAUF VON AUSFALLRAPPS IN WINTERRAPPSBESTÄNDEN. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION SPECIAL ISSUE XXI*, 303-308.
- TAN, S., R.R. EVANS, M.L. DAHMER, B.K. SINGH UND D.L. SHANER, 2005: IMIDAZOLINON-TOLERANT CROPS: HISTORY, CURRENT STATUS AND FUTURE. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **61**, 246-257.
- YOUNG, F.L., E.R. GALLANDT UND J.R. ALLDREDGE, 2000: PREDICTING WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM*) YIELD LOSS BASED ON JOINTED GOATGRASS (*AEGILOPS CYLINDRICA*) POPULATIONS FROM THE PREVIOUS SEASON. *WEED TECHNOLOGY* **14**, 432-427.

Erhebungen zum Einsatz von Glyphosat im deutschen Ackerbau

A survey on the use of glyphosate in German arable farming

Michael Dickeduisberg¹, Horst-Henning Steinmann^{1*} & Ludwig Theuvsen²

¹Universität Göttingen, Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung, Grisebachstr. 6, D- 37077 Göttingen

²Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Platz der Göttinger Sieben 5, D-37075 Göttingen

*Korrespondierender Autor, hsteinm@gwdg.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.056

Zusammenfassung

Glyphosat ist der weltweit meist verwendete Herbizidwirkstoff. Die Anwendungsgebiete von glyphosathaltigen Herbiziden decken eine Vielzahl von Kulturen und ackerbaulichen Situationen ab. Der Anwendungsumfang in Deutschland hat in den letzten zehn Jahren stark zugenommen. Daher sollte mit den Erhebungen ein Überblick über die tatsächlichen Einsatzgebiete erhalten werden. Im Frühjahr 2011 wurde eine Brief- und Online gestützte Umfrage unter deutschen landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. 896 Fragebögen konnten ausgewertet werden. Die Studie erfasste ca. 250.000 ha LF und repräsentiert Betriebe aus ganz Deutschland. Die anhand der Betriebsangaben errechnete Applikationsfläche drückt den Anteil der Behandlungsfläche an der Anbaufläche aus. Große Flächenanteile von Raps (87,2 %), Körnerleguminosen (72,1 %) und Wintergerste (65,9 %) werden mit Glyphosat behandelt. Wesentliche Anwendungsgebiete sind in der Reihenfolge ihrer Bedeutung die Stoppelbehandlung, Vorsaatbehandlung und Sikkation.

Stichwörter: Anwendungsgebiete, Herbizide, Sikkation, Stoppelbehandlung, Unkrautmanagement, Vorsaatbehandlung,

Summary

Glyphosate is the mostly used herbicide substance worldwide. Uses of glyphosate herbicides cover a wide range of crops and agronomical situations. During the last ten years, glyphosate use has increased in Germany. Thus, it is of specific interest to gather information on the current practice of its applications. In early 2011, a survey was carried out based on a postal and online inquiry of German farmers. The number of accessible valid answer sheets was 896. The study covered around 250000 ha of agricultural land, representing farms throughout Germany. The area of application was calculated (percentage), describing the proportion of application area from the cropping area of a specific crop. Large areas of oilseed rape (87.2 %), pulses (72.1 %) and winter barley (65.9 %) are treated with glyphosate. Predominating uses are (descending order): Stubble management, pre-sowing application and pre-harvest application (siccation).

Keywords: Herbicides, herbicide uses, pre-sowing application, siccation, stubble management, weed management

1. Einleitung

Glyphosat ist derzeit der weltweit meist genutzte Herbizidwirkstoff (DUKE und POWLES, 2008). Nach starkem Anstieg der Absatzmengen seit den 90er Jahren werden in Deutschland im Mittel der letzten vier Jahre alljährlich ca. 5000 t Glyphosat abgesetzt und der Anteil dieses Wirkstoffs an allen verkauften Herbiziden beträgt ca. 30 – 40 % (BVL, versch. Jahrgänge). Aufgrund dieser großen Mengen muss von einer hohen Bedeutung von Glyphosat in der Unkrautregulierung und der Betriebs- und Anbauplanung ausgegangen werden. So kann Glyphosat zur gezielten Bekämpfung von Problemunkräutern genutzt werden, aber auch die angebaute Kultur mit einer gezielten Sikkationsanwendung auf die anstehende Ernte vorbereiten. Zudem wird Glyphosat in der Praxis auch im Voraufbau bzw. vor der Saat und auch nach der Ernte auf der Stoppel eingesetzt.

Eine kürzlich erschienene Studie von COOK et al (2010) skizziert den großen betrieblichen und wirtschaftlichen Nutzen von Glyphosat in Großbritannien. Um auch in Deutschland die Anwendungsmuster in den verschiedenen Kulturen möglichst genau quantifizieren zu können, wurde eine breit angelegte Umfrage unter Landwirtschaftsbetrieben durchgeführt.

2. Material und Methoden

Im Winter 2010/2011 wurde eine schriftliche Befragung unter deutschen Landwirten aus dem gesamten Bundesgebiet durchgeführt. Dazu wurde ein Fragebogen sowohl in Papierform als auch in einer online-Variante entworfen. Der schriftliche Fragebogen wurde postalisch an 500 Ausbildungsbetriebe in Deutschland versendet und zusätzlich an 533 Betriebe per Fax verschickt. Für die Teilnahme am webbasierten Fragebogen wurden 1253 Betriebe per E-Mail angeschrieben. Die Betriebe wurden aus öffentlichen Listen der Ausbildungsbetriebe der Länder zufällig ausgewählt. Weiterhin wurden die Pflanzenschutzdienste der Bundesländer gebeten, den Fragebogen sowie den Zugang zum Onlinefragebogen an Betriebe weiter zu geben. Die Befragten wurden gebeten, das Jahr 2009 als Referenz zu wählen.

Die Fragen deckten Anwendungspraktiken und Mengenangaben zum Glyphosateinsatz sowie Angaben zur Betriebsstruktur ab. Es wurden insgesamt 896 ausgefüllte, auswertbare Bögen zurückgesandt, die eine Anbaufläche von 244.698 ha und damit 2 % der Ackerfläche Deutschlands repräsentieren. Hinzu kamen Angaben über 9.431 ha Grünland. Die Betriebsgrößen der Betriebe reichten von 1 bis 5.700 ha bei einer mittleren Betriebsgröße von 216 ha. Nahezu aus allen Bundesländern kamen Rückmeldungen. Die Betriebsformen deckten Ackerbau-, Gemischt- und Veredelungsbetriebe ab. Alle wesentlichen Ackerbaufrüchte waren im Anbau vertreten. Aus den Angaben zu Anwendungsgebieten, Präparat und Mittelaufwand wurden Applikationsmengen und -flächen errechnet, die Aussagen über die fruchtartenspezifische und sektorale Allokation von Glyphosat ermöglichen.

3. Ergebnisse

Tabelle 1 fasst die wesentlichen Ergebnisse der Umfrage zusammen. Nach den dargestellten Berechnungen finden auf 27,5 % der Landwirtschaftsfläche (LF) Glyphosatanwendungen statt. Wird das Grünland heraus gerechnet, sind es 39 % der Ackerfläche (AF) auf denen Glyphosat angewendet wird.

Tab. 1 Einsatz von Glyphosat in Ackerbau und Grünland in Deutschland (n = 896 Betriebe, 2009).

Tab. 1 Use of glyphosate in German arable farming and grassland (n= 896 farms, 2009).

Fruchtart / Nutzung	Fläche in D (nach DESTATIS, ha) ¹	Anteil der Umfragefläche (%)	Anteil Applika- tionsfläche an Anbaufläche (%) ^{2,3}	Anteil am Gly- phosateinsatz in Deutschland (%) ²
Grünland (GL)	4.443.900	0,2	3,2	4,0
Winterweizen?	3.226.000	4,1	23,2	15,8
Silomais	1.646.700	1,3	25,2	8,3
Winterraps	1.464.400	2,0	87,2	27,5
Wintergerste	1.450.900	1,4	65,9	20,1
Roggen / Triticale	1.160.500	1,2	35,0	8,0
Futterpflanzen	655.200	0,4	12,5	1,8
Sommergetreide	589.000	0,8	41,7	6,3
Körnermais	464.300	1,1	33,6	3,5
Zuckerrüben	383.600	1,9	31,0	3,0
Kartoffeln	263.700	1,2	10,5	0,6
Körner.-Legum.	60.300	2,3	72,1	0,9
Gesamt mit GL	15.808.600	1,6	27,5	100
Gesamt ohne GL	11.364.700	2,2	39,4	-

¹ einige kleinere Kulturen wurden nicht erfasst, daher Abweichungen von Gesamtsummen in D möglich. ² hochgerechnet aus Umfragedaten auf der Basis von Flächenangaben und Wirkstoffmengen; bezogen auf den konventionellen Anbau in Deutschland. ³ Mehrfachanwendungen auf gleicher Fläche wurden addiert, dadurch ggf. Überschätzung möglich.

Diese Zahlenangaben beziehen sich auf die konventionell angebauten Feldfrüchte in Deutschland (ca. 94 %). Die Fruchtarten werden in unterschiedlichem Maße mit Glyphosat behandelt. Aus den Angaben der Befragten konnte eine „Applikationsfläche“ errechnet werden, die die Summe aller Anwendungen für diese Fruchtart wiedergibt. Eventuell durchgeführte Mehrfachanwendungen in derselben Frucht (z. B. Vorsaatapplikation und Stoppelapplikation nach Ernte derselben Frucht) konnten nicht definitiv identifiziert werden und wurden daher addiert. Die Tabelle gibt den Anteil der so errechneten Applikationsfläche an der Anbaufläche dieser Feldfrucht an.

Winterraps, Körnerleguminosen und Wintergerste sind die Fruchtarten mit der höchsten anteiligen Applikationsfläche. Hier wird Glyphosat auf ca. 65 – 87 % der Anbaufläche eingesetzt. Werden die errechneten Applikationsflächen hinsichtlich ihrer deutschlandweiten Gewichtung betrachtet, so bilden mit Winterraps, Winterweizen und Wintergerste die flächenstarken Fruchtarten die größten Senken für glyphosathaltige Herbizide. Ca. 60 % der Verbrauchsmenge in Ackerbau und Grünland wird hier angewendet. Das Grünland erhält nur zu einem geringen Anteil Glyphosatapplikationen. Angaben zur Brachebehandlung zwecks Inkulturnahme wurden kaum gemacht und sind daher nicht aufgeführt.

Anwendungsgebiete sind vorwiegend Stoppelbehandlung mit 23 % der Ackerfläche (vorw. in Winterraps, Körnerleguminosen), Vorsaatbehandlung mit 7 % Anteil (vorw. in Zuckerrüben, Silo- / Körnermais) und Sikkation mit 3,8 % Anteil (vorw. in Wintergerste, Körnerleguminosen).

4. Diskussion

Die vorliegende Studie befasst sich mit einer Stichprobe von deutschen Landwirten, die eine Vielzahl von ackerbaulichen Strukturen repräsentieren. Die Zahl der auswertbaren Betriebe liegt in der Größenordnung einer umfangreichen Studie (National Pesticide Survey) aus Großbritannien (GARTHWAITE et al., 2008) und kann daher durchaus als belastbar gelten. Anwendungsgebiete von Glyphosat außerhalb von Ackerbau und Grünland konnten mit der Umfrage nicht in ausreichendem Stichprobenumfang abgedeckt werden. Dies bedarf daher einer separaten Untersuchung.

Glyphosat ist nicht nur ein Herbizid, sondern auch ein Ackerbauinstrument. Ein großer Teil der Stoppeln im Ackerbau Deutschlands wird mit Hilfe von glyphosathaltigen Herbiziden gepflegt. Auf diese Weise wird durch die andauernde Bodenruhe Boden- und Wasserschutz betrieben (Winterraps), die grüne Brücke für Schaderreger unterbrochen (Wintergerste, Winterraps) sowie das Management perennierender Unkräuter unterstützt (Wintergerste, Winterweizen, Leguminosen). Auf diese Weise ist es zu erklären, dass auf Basis von Hochrechnungen der hier vorgestellten Umfrage gut ein Viertel der deutschlandweit in Ackerbau und Grünland applizierten Glyphosatmenge auf Rapsflächen ausgebracht wird.

Sikkation mit Glyphosat scheint in Deutschland nicht so verbreitet zu sein wie in Großbritannien. Dort werden Flächenanteile von 40 bis 80 % bei Weizen und Raps als Sikkationsfläche genannt (COOK et al., 2010). Die Ergebnisse der deutschlandweiten Studie zeigen hingegen, dass lediglich 12 % der ausgebrachten Glyphosatmengen auf die Sikkation entfallen. Der Anteil der behandelten Ackerfläche liegt im Mittel der Feldfrüchte unter 5 %, scheint aber, wie Praxisbeobachtungen zeigen, eine steigende Tendenz zu haben.

Die Wieder-Inkulturnahme der Flächenstilllegung mittels Glyphosatapplikation spielt nach der Abschaffung dieses agrarpolitischen Instrumentes kaum noch eine Rolle. Die Mehrzahl der Stilllegungsflächen dürfte in den Jahren vor 2009 in Kultur genommen worden sein. Die im Referenzjahr anfallenden Anwendungen auf Brachflächen wurden in der Regel als Vorsaatapplikation bei der Nachbaukultur angegeben und sind dort mit enthalten.

Die hohe Bedeutung der Stoppelbehandlung und der Vorsaatbehandlungen ist sicherlich dem zunehmenden Einsatz reduzierter Bodenbearbeitungstechnik geschuldet und soll dadurch Grubber- und Pflugarbeitsgänge einsparen. Die reduzierte Bodenbearbeitung der Rapsstoppel verringert die Stickstoffmineralisation und damit die Gefahr von Nährstoffausträgen. Die Sikkation wird ebenfalls nicht ausschließlich aus Gründen der Unkrautbekämpfung betrieben, sondern dient auch in

zunehmendem Maße dem Erntemanagement (COOK et al., 2010). Ein beträchtlicher Anteil der Glyphosatanwendungen ist somit weniger herbologisch als vielmehr ackerbaulich bzw. arbeitswirtschaftlich motiviert.

Insgesamt bewerten die befragten Landwirte den Nutzen von Glyphosat sehr hoch. Zahlreiche weitere kleinere Anwendungsgebiete wie Einzelpflanzen-, Teilflächen- und Randbehandlungen unterstreichen dies. Schließlich kann ein gezielter Glyphosateinsatz zu Einsparungen bei anderen Herbiziden beitragen. Es ist jedoch offenkundig, dass Glyphosat in vielen Fällen als Standardinstrument angesehen und dementsprechend häufig eingesetzt wird. Da für alle Anwendungsgebiete Zulassungen bestehen, ist allerdings niemandem ein Vorwurf daraus zu machen. Inwieweit künftig Anwendungsrestriktionen, z. B. aufgrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie oder anderer Gesetzgebungen die Anwendung von Glyphosat einschränken werden, ist bisher unklar. Eine Diskussion über die ackerbaulich und herbologisch prioritären Anwendungsgebiete sollte rechtzeitig geführt werden, um den Wirkstoff weiterhin nutzbringend einzusetzen.

Danksagung

Wir danken den beteiligten Landwirten für die Teilnahmebereitschaft sowie den Pflanzenschutzdiensten der Länder für die Unterstützung der Umfrage.

Literatur

- BVL (BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT) VERSCHIEDENE JAHRGÄNGE. ABSATZ AN PFLANZENSCHUTZMITTELN IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND.
- DESTATIS, 2011: STATISTISCHES BUNDESAMT. VERSCHIEDENE TABELLEN ZUR LANDWIRTSCHAFT 2009. WWW.DESTATIS.DE (ABGERUFEN AM 5.9.2011).
- DUKE, S.O. UND S.B. POWLES, 2008: GLYPHOSATE: A ONCE-IN-A-CENTURY HERBICIDE. PEST MANAGEMENT SCIENCE **64**, 319 - 325.
- COOK, S., WYNN, S UND J. CLARKE, 2010: GLYPHOSATE – A NECESSARY HERBICIDE. HOW VALUABLE IS GLYPHOSATE TO UK AGRICULTURE AND ENVIRONMENT? OUTLOOKS ON PEST MANAGEMENT, DECEMBER 2010, 280 - 283.
- GARTHWAITE, D. G., THOMAS, M.R., PARRISH, G., SMITH, L. UND I. BAKER, 2008: ARABLE CROPS IN GREAT BRITAIN 2008. PESTICIDE USAGE SURVEY REPORT 224.

Auswirkungen von Aminopyralid-haltigen Rindermist auf das Wachstum von Kulturpflanzen

Impact of cattle manure containing aminopyralid on crop growth

Henning Nordmeyer

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11-12,
D-38104 Braunschweig, henning.nordmeyer@jki.bund.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.057

Zusammenfassung

Herbizidrückstände im Boden können den Anbau von Kulturpflanzen beeinträchtigen. Untersucht wurde der Einfluss des Wirkstoffes Aminopyralid in Rindermist auf die folgenden Acker- und Gemüsekulturen: Kartoffel (*Solanum tuberosum*), Zuckerrübe (*Beta vulgaris*), Mais (*Zea mays*), Acker-Senf (*Sinapis arvensis*), Sonnenblume (*Helianthus annuus*), Sommerraps (*Brassica napus*), Sommergerste (*Hordeum vulgare*), Tomate (*Solanum lycopersicum*), Gurke (*Cucumis sativus*), Erbse (*Pisum sativum*), Kopfsalat (*Lactuca sativa*), Buschbohne (*Phaseolus vulgaris*), Porree (*Allium ampeloprasum*), Karotte (*Daucus carota*) und Blumenkohl (*Brassica oleracea*). Es wurden Mikroplotversuche mit Mistmengen von entsprechend 7,5; 15 und 30 Tonnen Mist pro Hektar durchgeführt. Alle Gemüsekulturen reagierten mehr oder weniger empfindlich auf Wirkstoffrückstände. Als empfindlichste Kulturen sind Erbsen und Tomaten einzustufen. Bereits Rückstandsgehalte von weniger als zwei Mikrogramm Aminopyralid pro kg Boden führten zu Pflanzenschädigungen. Auch die Ackerkulturen Kartoffel, Zuckerrübe und Sonnenblume reagierten sehr empfindlich auf Aminopyralid. Der Wirkstoff war dagegen für monokotyle Pflanzen sehr gut verträglich. Bei Sommergerste und Mais traten keine Wuchsschäden auf.

Stichwörter: Ackerkulturen, Boden, Ertrag, Gemüsekulturen, Herbizid, Nachbau, Pflanzenschädigung, Wirkstoff Aminopyralid

Summary

Herbicide residues in soils can affect the cultivation of crops. The effect of cattle manure containing the active substance aminopyralid was investigated on field and vegetable crops: Potatoes (*Solanum tuberosum*), sugar beets (*Beta vulgaris*), maize (*Zea mays*), wild mustard (*Sinapis arvensis*), sunflower (*Helianthus annuus*), spring oilseed rape (*Brassica napus*), spring barley (*Hordeum vulgare*), tomatoes (*Solanum lycopersicum*), cucumber (*Cucumis sativus*), peas (*Pisum sativum*), lettuce (*Lactuca sativa*), bush beans (*Phaseolus vulgaris*), leek (*Allium ampeloprasum*), carrots (*Daucus carota*) and cauliflower (*Brassica oleracea*). Microplot trials were carried out with treatments of 7.5; 15 and 30 tons cattle manure per hectare. All vegetable crops reacted more or less sensitive to the herbicide residues. The most sensitive crops were peas and tomatoes. Even residue levels of less than two micrograms aminopyralid per kilogram of soil caused plant damage. Also field crops such as potatoes, sugar beets and sunflower react very sensitive to aminopyralid. In contrast, the active ingredient is well tolerated by monocotyledonous plants. In spring barley and maize, no plant damage was observed.

Keywords: Active ingredient aminopyralid, crop injury, field crops, herbicide, soil, succeeding crops, vegetable crops, yield

1. Einleitung

Das Herbizid Simplex mit den Wirkstoffen Fluroxypyr (100 g/l) und Aminopyralid (30 g/l) wird in Deutschland zur Bekämpfung zweikeimblättriger Unkräuter auf Wiesen und Weiden mit einer Aufwandmenge von 2 l/ha angewendet. Es besitzt ein breites Wirkungsspektrum zur Bekämpfung dikotyler Unkrautarten wie z.B. Ampfer-Arten (*Rumex* spp.), Distel-Arten (*Cirsium* spp.) und Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea*). Für monokotyle Arten ist das Herbizid dagegen gut verträglich. Neben einem Abbau kommt es in monokotylen Pflanzen zu einer Verbindung des Wirkstoffes Aminopyralid mit Cellulose und Lignin, so dass biologisch inaktive Glucose-Konjugate entstehen. Diese Konjugate werden von Tieren mit dem Futter (Gras, Silage, Heu) aufgenommen, durchlaufen den Verdauungstrakt und werden wieder ausgeschieden. Im Körper der Tiere erfolgt unter anaeroben Bedingungen kein Wirkstoffabbau. Aminopyralid gelangt daher in Mist, Jauche oder Gülle und wird auch bei der Lagerung unter den dabei vorherrschenden anaeroben Bedingungen ebenfalls nicht abgebaut. Wenn dieser Wirtschaftsdünger ausgebracht wird und in den Boden gelangt, setzen

mikrobielle Abbauvorgänge ein, die zu einer Freisetzung des Wirkstoffes Aminopyralid im Boden führen, der dann bei Anbau empfindlicher Pflanzenarten Wuchsschädigungen hervorrufen kann. Der Wirkstoff Fluroxypyr ist im Hinblick auf den Anbau von Folgekulturen als unproblematisch einzustufen. MIKKELSON und LYM (2011) konnten durch Aminopyralid Schäden an Luzerne, Sojabohne und Sonnenblumen nachweisen. Feldversuche von FAST et al. (2011) belegten Schäden an Paprika, Aubergine, Tomate, Zucker- und Wassermelone. Schäden traten bereits bei Wirkstoffmengen von 0,2 µg/kg Boden auf. Untersuchungen von NORDMEYER (2010) belegten Schäden an verschiedenen Acker- und Gemüsekulturen. Es kam zu Schäden mit wuchsstoffähnlichen Symptomen. DAVIS (2009) untersuchte den Einfluss von Herbizidrückständen in Heu, Mist, Kompost und Rasenschnitt auf das Wachstum von Gemüsepflanzen. Als Ursache einer Pflanzenschädigung werden allgemein Rückstände von Aminopyralid in organischen Düngern vermutet. Zur Klärung dieses Sachverhaltes wurden Wachstumsversuche nach Ausbringung von Aminopyralid-haltigen Rindermist durchgeführt.

2. Material und Methoden

Zur Untersuchung der Wirkung von Aminopyralid-haltigen Rindermist auf verschiedene Acker- und Gemüsekulturen wurden 2009 und 2010 Wachstumsversuche in Mikroplots durchgeführt. Dazu wurde Aminopyralid-haltiger Rindermist in 10 l- bzw. 300 l-Behälter, die mit JKI-Standardboden (C_{org} 1,02 %; pH 6,7; Sand 52,5 %; Schluff 41,0 %; Ton 6,5 %) gefüllt waren, eingearbeitet. Der Rindermist wurde zuvor homogenisiert. Der Rindermist wies Rückstandsgehalte von 0,365 mg Aminopyralid/kg Rindermist auf. Die Gefäße wurden in einer Vegetationshalle in den Monaten Mai bis September unter Halbfreilandbedingungen randomisiert aufgestellt. Die Kulturen wurden praxisüblich gedüngt und regelmäßig bewässert. Die Versuchsbehälter wurden mechanisch unkrautfrei gehalten.

Mikroplotversuche in 300 l-Behältern

Es wurde eine Mistmenge von 30 t/ha (Frischmasse) mit (Variante 2) und ohne (Variante 1) Aminopyralid-Rückstände 30 cm tief in den Boden gleichmäßig eingearbeitet. Daraus resultiert bei einer Lagerungsdichte von 1,25 ein Rückstandsgehalt von 3 µg Aminopyralid/kg Boden. Als Kulturpflanzen wurden 2009 und 2010 verschiedene Ackerbaukulturen geprüft. Die Variante 1 diente als Kontrolle. Geprüft wurden die Kulturen Kartoffel (*Solanum tuberosum*), Zuckerrübe (*Beta vulgaris*), Mais (*Zea mays*), Ackersenf (*Sinapis arvensis*), Sonnenblume (*Helianthus annuus*), Sommerraps (*Brassica napus*) und Sommergerste (*Hordeum vulgare*).

Mikroplotversuche in 10 l-Behältern

Es wurden Mistmengen von umgerechnet 7,5 t/ha; 15 t/ha und 30 t/ha (Frischmasse) mit (Variante 2) und ohne (Variante 1) Aminopyralid-Rückstände in den Boden gleichmäßig eingearbeitet und das Pflanzenwachstum über einen Zeitraum von drei Monaten erfasst und bonitiert. Als Kulturpflanzen wurden 2009 Tomate (*Solanum lycopersicum*), Gurke (*Cucumis sativus*), Erbse (*Pisum sativum*) und Kopfsalat (*Lactuca sativa*) geprüft. Zu Versuchsende wurde der Ertrag ermittelt. 2010 wurden die Auswirkungen von Aminopyralid auf Porree (*Allium ampeloprasum*), Karotte (*Daucus carota*), Buschbohne (*Phaseolus vulgaris*) und Blumenkohl (*Brassica oleracea*) untersucht.

Biotest

In einem Versuch mit Tomaten wurde die Empfindlichkeit der Pflanzen nach Einarbeitung des Wirkstoffes Aminopyralid in den Boden (JKI-Standardboden) untersucht. Die Wirkstoffkonzentrationen im Boden lagen zwischen 0 und 20 µg pro kg Boden. Die vorgezogenen Tomatenpflanzen wurden im 2-Blattstadium in Biotesttöpfe (Größe 0,3 l) pikiert und für zwei Wochen in einem Klimlichtbrutschrank bei konstanten 20 °C und 16 Stunden Licht aufgestellt.

Auswertung

Die Auswertung aller Versuche erfolgte durch Bonitur der Herbizidwirkung zu verschiedenen Terminen (Schädigungsgrad im Vergleich zur Kontrolle) sowie anhand der Bestimmung des Frischmassegewichtes der Pflanzen bzw. des Erntegutes pro Behälter bzw. Topf im Vergleich zur

Kontrollvariante mit Rindermist ohne Herbizid bzw. unbehandeltem Boden im Biotest. Statistische Auswertungen der Mikroplotversuche wurden mit Statgraphics centurion, Version XV, durchgeführt (Mittelwertvergleiche, Tukey $\alpha = 0,05$). Bioteste wurden mit einem Excel Makro (Version 2.651) ausgewertet (ONOFRI, 2005) und ED-Werte berechnet.

3. Ergebnisse

Mikroplotversuche in 300 l-Behältern

In diesen Mikroplotversuchen wurden verschiedene Ackerbaukulturen getestet. Bei Mais, Sommergerste, Sommerraps und Ackersenf konnten bis 70 Tage nach Versuchsansatz keine phytotoxischen Schäden nachgewiesen werden. Dagegen zeigten Kartoffeln, Sonnenblumen und Zuckerrüben bei visuellen Bonituren eine Schädigung von 86,7 bzw. 84,6 % im Vergleich zur Kontrolle. Die Kartoffeln reagierten deutlich schneller auf Aminopyralid als Zuckerrüben. Bereits 14 Tage nach Versuchsansatz lag die Schädigung bei 55 %, während die Zuckerrüben zu diesem Zeitpunkt noch keine Schadsymptome zeigten. Die phytotoxischen Erscheinungen zeigten deutliche Auswirkungen auf den Rübenenertrag.

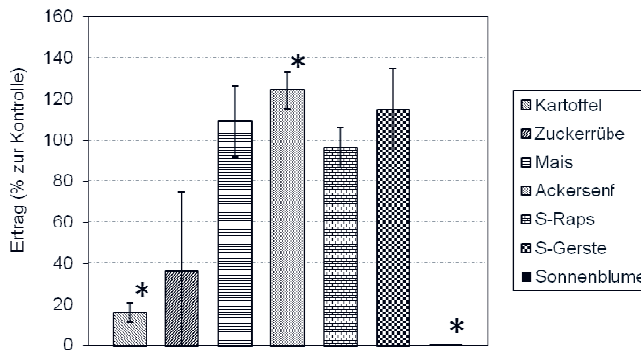


Abb. 1 Auswirkungen von Aminopyralid-haltigen Rindermist auf den Ertrag von Ackerkulturen. Standardfehler sind durch vertikale Linien angegeben. * Signifikanzniveau $p < 0,05$.

Fig. 1 Impact of cattle manure containing aminopyralid on yield of field crops. Standard errors are indicated by vertical lines. *Level of significance $p < 0.05$.

Bei Kartoffeln lag der Ertrag bei unter 20 % im Vergleich zur Kontrolle; bei Zuckerrüben erreichte der Ertrag 40 % der Kontrolle und bei Sonnenblumen lag er bei 0,7 % (Abb. 1). Zudem waren die Kartoffelknollen und Zuckerrüben kleiner und deformiert. Bei Mais, Sommergerste, Sommerraps und Ackersenf traten keine negativen Ertragsauswirkungen auf. Mittelwertvergleiche ergaben für einzelne Kulturen signifikante Unterschiede zur Kontrolle.

Mikroplotversuche in 10 l-Behältern

Die Mikroplotversuche wurden mit verschiedenen Rindermistmengen durchgeführt. In Abhängigkeit von der Pflanzenart zeigten sich als Reaktion auf die Wirkstoffrückstände wuchsstofftypische Schadsymptome. Erbsen- und Bohnenpflanzen zeigten sehr schnell eine Reaktion. Sie wiesen Wuchsdepressionen, Verdrehungen und Blatteinrollungen auf. Es wurden keine Seitentriebe ausgebildet. Bei Salat zeigten sich Symptome wie verminderter Wuchs, Blattaufhellung, Verformungen der Blätter und ein verkrümmter Salatkopf. Gurken reagierten mit einem verspäteten Wachstumsbeginn, mit einem Einrollen der Blätter vom Rand bis hin zur Bildung einer Halbkugel, mit Kräuselungen im Blattinnern und leichten Verdickungen. Früchte wurden angesetzt. Bei Tomaten zeigte sich eine starke Blatteinrollung, eine starke Verkrümmung der Triebe und Verdickungen. Die Blütenbildung unterblieb. Porree wies gedrehte Triebe auf und die Pflanzen stellten sich nicht aufrecht. Bei Möhren kräuselten sich die Blattspitzen ein. Blumenkohl zeigte leicht eingerollte und schmalere Blätter im Vergleich zur Kontrolle.

Abbildung 2 zeigt den Einfluss der Mistmenge auf die Pflanzenschädigung der untersuchten Kulturen. Die visuelle Bonitur erfolgte 63 Tage nach Versuchsansatz. Im allgemeinen konnte bei den Kulturen Salat, Tomate, Porree, Karotte und Blumenkohl eine Zunahme des Schädigungsgrades mit steigender Mistmenge festgestellt werden. Am empfindlichsten reagieren Erbsen und Bohnen. Bei allen Mistmengen lag die Pflanzenschädigung bei nahezu 100 %. Gurken und Blumenkohl erwiesen sich dagegen von allen Kulturen am unempfindlichsten. Der bonitierte Schädigungsgrad bei diesen Kulturen lag bei der höchsten Mistmenge (30 t/ha) im Mittel bei 6,7 bzw. 5 %.

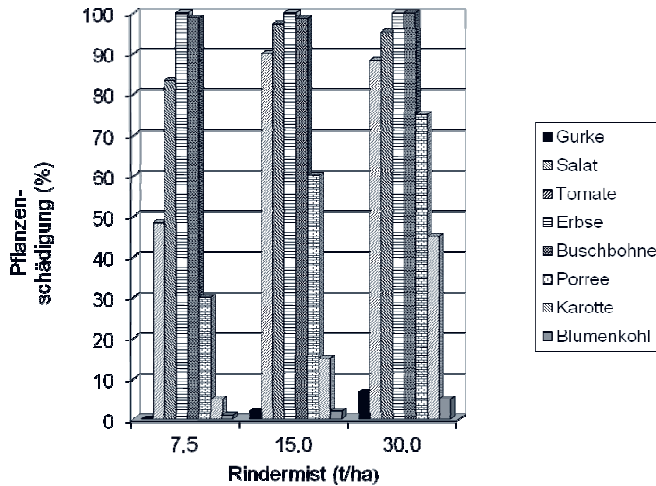


Abb. 2 Pflanzenschädigung (%) bei Gemüsekulturen durch Aminopyralid-haltigen Rindermist.

Fig. 2 Plant damage (%) of vegetable crops by cow manure containing aminopyralid.

In Abbildung 3 sind die Frischmasseerträge der geprüften Gemüsekulturen für die Variante mit 30 t Rindermist/ha dargestellt. Für Erbsen und Bohnen konnten keine Erträge ermittelt werden, da die Pflanzenschädigung bei nahezu 100 % lag (Abb. 2). Bei Gurken und Blumenkohl lagen die Erträge bei 102 bzw. 127 % im Vergleich zur Kontrolle. Tomaten, Kopfsalat, Porree und Karotten wiesen deutliche Mindererträge auf und waren nicht marktfähig.

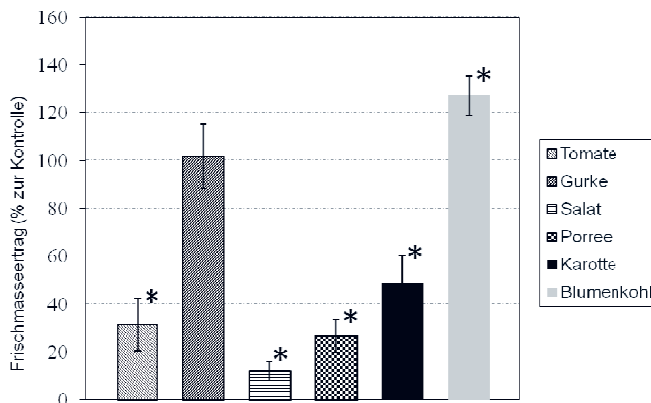


Abb. 3 Auswirkungen von Aminopyralid-haltigen Rindermist auf den Ertrag von Gemüsekulturen. Standardfehler sind durch vertikale Linien angegeben. * Signifikanzniveau $p < 0,05$.

Fig. 3 Impact of cattle manure containing aminopyralid on yield of vegetable crops. Standard errors are indicated by vertical lines. Level of significance $p < 0.05$.

Biotest

Im Biotest wurde die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Wirkstoff Aminopyralid und Tomaten untersucht (Abb. 4). Es zeigt sich, dass bereits Wirkstoffmengen von kleiner als 1 µg/kg Boden zu Schädigungen der Pflanzen führen. Der berechnete ED₅₀-Wert liegt bei 1,95 µg Aminopyralid/kg Boden.

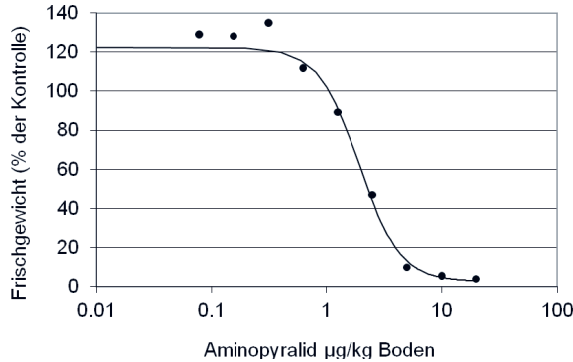


Abb. 4 Dosis-Wirkungs-Beziehung Aminopyralid – Tomate.

Fig. 4 Dose response curve aminopyralid – tomato.

4. Diskussion

Eine Vielzahl von Acker- und Gemüsekulturen reagiert sehr empfindlich auf Rückstände des herbiziden Wirkstoffes Aminopyralid im Boden (DAVIS, 2009). Bereits geringe Konzentrationen im Bereich der analytischen Nachweisgrenze können Schäden an Kulturpflanzen hervorrufen (FAST et al., 2011; NORDMEYER, 2010). In den Untersuchungen kam es bei den empfindlichen Kulturen infolge von Aminopyralidrückständen zu unterschiedlich stark ausgeprägten Pflanzenschädigungen. Als Symptome wurden häufig verminderte Keimung, Absterben von Jungpflanzen, gedrehte Blätter, deformierte Früchte und Ertragsminderungen beobachtet. Die Ergebnisse bestätigen die Empfindlichkeit dikotyler Kulturen gegenüber Aminopyralid (FAST et al., 2011; MIKKELSON und LYM, 2011; WRAP, 2010). In Feldversuchen wurde noch 23 Monate nach der Applikation eine Schädigung von Sojabohnen nachgewiesen (MIKKELSON und LYM, 2011). Wirkstoffrückstände können über Jahre im Boden pflanzenverfügbar sein. Die Anwendung von Aminopyralid-haltigen Herbiziden und die Verwertung des Erntegutes bedürfen daher besonderer Beachtung. Bei der Verwendung von Wirtschaftsdünger, der von Tieren stammt, die mit behandeltem Futter gefüttert wurden, ist nur ein eingeschränkter Anbau von Kulturen möglich. Das gleiche gilt für Kompost mit Aminopyralid-behandelten Pflanzenmaterial.

Auf keinen Fall sollte Tierdung oder Kompost mit Wirkstoffrückständen bei empfindlichen Kulturen ausgebracht werden. Dies kann zu Pflanzenschäden bis hin zu einem totalen Ertragsausfall führen. Die Verwendung von Wirtschaftsdüngern und Kompost auf dem Grünland oder im Ackerbau bei Getreide oder Mais kann dagegen als unproblematisch eingestuft werden. Die in Deutschland für das Herbizid Simplex gültigen Kennzeichnungsaufgaben gewährleisten bei strikter Beachtung eine sichere Anwendung und die Vermeidung von Pflanzenschäden an nachgebauten Kulturen.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei Annika Behme, Ilse Hess, Arno Littmann und Jens-Michael Behrens für die engagierte Betreuung der Versuche.

Literatur

- DAVIS, J., 2009: HERBICIDE CARRYOVER IN HAY, MANURE, COMPOST AND GRASS CLIPPINGS. NC COOPERATIVE EXTENSION. WWW.CES.NCSU.EDU/FLETCHER/PROGRAMS/NCORGANIC/SPECIAL-PUBS/GGTSPU-STYX2.BBA.DE-4121-7515389-DAT/HERBICIDE_CARRYOVER.PDF.
- FAST, B.J., FERRELL, J.A., MACDONALD, G.E., SELLERS, B.A., MACRAE, A.W., KRUTZ, L.J. UND W.N. KLINE, 2011: AMINOPYRALID SOIL RESIDUES AFFECT ROTATIONAL VEGETABLE CROPS IN FLORIDA. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **67**, 825-830.
- MIKKELSON, J.R. UND R. LYM, 2011: AMINOPYRALID SOIL RESIDUES AFFECT CROP ROTATION. *WEED TECHNOLOGY* **25**, 422-429.
- NORDMEYER, H., 2010: HERBIZIDRÜCKSTÄNDE IM MIST SCHADEN PFLANZEN. *GEMÜSE* **46**, 2, 10-13.
- ONOFRI, A., 2005: BIOASSAY97: A NEW EXCEL VBA MACRO TO PERFORM STATISTICAL ANALYSES ON PESTICIDE DOSE-RESPONSE DATA. *RIVISTA ITALIANA DI AGROMETEOROLOGIA* **3**, 40-45.
- WRAP, 2009: AN INVESTIGATION OF CLOPYRALID AND AMINOPYRALID IN COMMERCIAL COMPOSTING SYSTEMS. PROJECT OAV031-002. REPORT BY E.J. GILBERT, J. BARTH, E. FAVOINO, R. RYNK.

Sektion 6: Neue Herbizide

Section 6: New herbicide products

POLAR* (GF-2463) – a new cereal herbicide comprising florasulam and clopyralid for control of dicotyledonous weeds in spring

POLAR* (GF-2463) – ein neues Getreideherbizid bestehend aus Florasulam und Clopyralid zur Bekämpfung zweikeimblättriger Unkräuter im Frühjahr

Jörg Becker^{1*}, Dominique Larelle², Imre Erdei¹ & Ullrich Homa¹

¹Dow AgroSciences GmbH, Truderinger Str. 15, 81677 München, Germany

²Dow AgroSciences, 6, Rue Jean-Pierre Timbaud, 78067 St. Quentin Yvelines, France

*Corresponding author, becker1@dow.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.058

Summary

POLAR* (GF-2463=Dow 24630 H) contains the active ingredients florasulam and clopyralid both well known substances found in commercial products such as Primus^{*3} (florasulam), Starane XL* (florasulam, fluroxypyr), Ariane C* (florasulam, fluroxypyr, clopyralid) or Lontrel* (clopyralid). POLAR* has a broad dicotyledonous weed spectrum and controls *Galium aparine*, *Matricaria* spp., *Centaurea cyanus*, *Stellaria media*, cruciferous weeds (*Brassica* spp. and others), *Polygonum* spp., *Solanum nigrum* and other weeds when applied post-emergence in spring. Increasingly important weeds in cereal production such as *C. cyanus* as well as *G. aparine* and *Matricaria* spp. at late growth stages can be controlled very efficiently at BBCH 13 to 32 in winter cereals and at BBCH 13 to 30 in spring cereals. POLAR* is formulated as a Suspension Concentrate (SC) with a target dose rate of 200 ml/ha (60 g ai/ha clopyralid + 5 g ai/ha florasulam) in winter and spring cereals. It combines two modes of action: Auxin-like (clopyralid) and acetolactate synthase (ALS) inhibitors (florasulam) and can be safely applied in spring (soft and hard) and winter wheat, spring and winter barley, spring oats, winter rye, winter triticale and spelt.

Keywords: *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Matricaria* spp., winter and spring cereals

Zusammenfassung

POLAR* (GF-2463=Dow 24630 H) enthält die Wirkstoffe Florasulam und Clopyralid die beide bestens bekannt sind aus Produkten wie Primus* (Florasulam), Starane XL* (Florasulam, Fluroxypyr), Ariane C* (Florasulam, Fluroxypyr, Clopyralid) oder Lontrel* (Clopyralid). POLAR* hat ein breites Wirkungsspektrum und bekämpft im Nachauflauf im Frühjahr *Galium aparine*, *Matricaria* spp., *Centaurea cyanus*, *Stellaria media*, kruzifere Unkräuter (Ausfallraps, *Brassica* spp. und andere), *Polygonum* spp., *Solanum nigrum* und andere Unkräuter. Dicotyle Unkräuter mit zunehmender Bedeutung im Getreidebau wie *C. cyanus* aber auch weiter entwickelte Pflanzen von *Matricaria* spp. und *G. aparine* können mit hohem Wirkungsgrad im Stadium BBCH 13 bis 32 im Wintergetreide und BBCH 13 bis 30 im Sommergetreide bekämpft werden. POLAR* ist als SC (Suspension Concentrate) formuliert und wird mit einer Aufwandmenge von 200 ml/ha (60 g ai/ha Clopyralid + 5 g ai/ha Florasulam) in Winter- und Sommergetreide angewendet und kombiniert zwei Wirkungsmechanismen: Auxin-ähnlich (Clopyralid) und Acetolactatesynthase (ALS)-Hemmer (Florasulam). Es besitzt eine ausgezeichnete Selektivität in Sommer- (Hart- und Weich-) und Winterweizen, Sommer- und Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale und Hafer.

Stichwörter: *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Matricaria* spp., Winter- und Sommergetreide

1. Introduction

POLAR* is a new cereal herbicide which contains clopyralid (300 g ae/L) and florasulam (25 g ai/L). Florasulam is well known from Starane XL* (fluroxypyr + florasulam, 100 + 2.5 g/l, SE) and Primus* (florasulam, 50 g/l, SC). Florasulam controls *G. aparine*, *Matricaria* spp., *Polygonum convolvulus*, *Papaver rhoeas* and cruciferous weeds including volunteer oilseed rape (SCHLOTTER et al., 1998). Clopyralid has a regulatory approval in oilseed rape, maize, sugar beets and other crops in

³ *=Trade Mark – Dow AgroSciences LLC

commercial products such as Lontrel 100* (clopyralid, 100 g/l, SL) or Effigo*(clopyralid + picloram, 267 + 67 g/l, SL) and controls *Matricaria* spp., *C. cyanus*, *Cirsium arvense* and legume weeds. While clopyralid exhibits auxin like mode of action, florasulam is an ALS inhibitor demonstrating its strength under very cold conditions on *G. aparine* (BECKER et al., 2000; BECKER et al., 2002). In recent years, ALS-resistant *Matricaria* spp. was observed occasionally and problematic broadleaved weeds such as *C. cyanus* have widely spread. Furthermore, there is an increasing need for controlling larger weeds after mild winters or after failure of autumn herbicide applications. The new herbicide POLAR* combines the well know unique features of florasulam (i.e. *G. aparine* control under cold conditions) with new options for significantly increased level of control of *C. cyanus* and *Matricaria* spp.

2. Materials and methods

Development trials with POLAR* were conducted in 2009 and 2010 in Germany and the UK by Dow AgroSciences internal field development department and trials were carried out by the German Plant Protection Service in accordance with GEP. Generally, trials were carried out with 4 replicates, plot size was 11 to 30 m² and weed control of POLAR* and commercial standards were assessed 2, 4 and 8 weeks after application. Phytotoxicity assessments with cereal crops were started one week after application and continued as long as symptoms were visible. The weed control was rated visually as an overall score of the percentage control or phytotoxicity relative to the non-treated check. Crop selectivity and yield was evaluated in efficacy trials with weed infestation as well as in selectivity trials without weed competition. In selectivity trials, safety of the crop was tested with target dose and double dose rate of POLAR*.

Characteristics of POLAR*

Active ingredients:	Florasulam (25 g ai/L) + clopyralid (300 g ai/L)
Formulation:	Suspension concentrate (SC)
Target dose rate:	Winter cereals 200 ml/ha Spring cereals 200 ml/ha
Application timing:	Winter cereals BBCH 13 to 32 in spring Spring cereals BBCH 13 to 30 in spring
Mode of action:	Acetolactate synthase inhibitor (ALS, HRAC B) + Auxin-like (HRAC O)
Symbol:	N
Bee toxicity:	No

3. Results

3.1 Weed spectrum

POLAR* was tested in winter cereals at application stage BBCH 13 to 32 and in spring cereals at BBCH 13 to 30. POLAR* performed in winter and spring cereals at very high levels (>90 % efficacy) on *G. aparine*, *Matricaria* spp., *C. cyanus*, *Erophila verna*, *Polygonum* spp., cruciferous weeds including volunteer rape (*Brassica napus*, *Capsella bursa-pastoris*, *Descurainia sophia*) and *S. media*. *Lamium* spp., *Veronica* spp. and *Viola arvensis* were not sufficiently controlled (Tab. 1).

Tab. 1 Weed spectrum of POLAR* (200 ml/ha) when applied at BBCH 13 to 30 and 31 to 32 in winter cereals and at BBCH 13 to 30 in spring cereals. Figures in brackets indicate number of trials.

Tab. 1 Wirkungsspektrum von POLAR* (200 ml/ha) bei Anwendung im BBCH-Stadium 13 bis 30 und 31 bis 32 in Wintergetreide und bei BBCH 13 bis 30 in Sommergetreide. Anzahl der Versuche in Klammern.

Weed species	Weed Code	Winter cereals BBCH 13-30	Winter cereals BBCH 31-32	Spring cereals BBCH 13-30
Brassica napus	BRSSS	97 (2)	97 (2)	94 (6)
Capsella bursa-pastoris	CAPBP	100 (4)	51 (3)	94 (6)
Centaurea cyanus	CENCY	98 (11)	97 (9)	100 (4)
Cirsium arvense	CIRAR	97(2)	70 (1)	89 (2)
Descurainia sophia	DESSO	94 (1)	96 (1)	80 (2)
Erophila verna	ERPVE	99 (1)	99 (1)	
Galium aparine	GALAP	98 (12)	94 (7)	97 (14)
Geranium rotundifolium	GERRT	64 (2)	0 (1)	
Lamium amplexicaule	LAMAM	54 (2)	44 (2)	
Lamium purpureum	LAMPU	25 (5)	17 (3)	52 (5)
Matricaria chamomilla	MATCH	99 (11)	95 (8)	99 (14)
Matricaria inodora	MATIN	98 (3)	97 (2)	100 (5)
Myosotis arvensis	MYOAR	79 (6)	86 (3)	
Papaver rhoeas	PAPRH	82 (7)	84 (6)	84 (1)
Polygonum aviculare	POLAV			88 (9)
Polygonum convolvulus	POLCO	99 (2)	83 (1)	96 (16)
Polygonum lapathifolium	POLLA	99 (1)	85 (1)	
Polygonum persicaria	POLPE			95 (2)
Raphanus raphanistrum	RAPRA			100 (2)
Sinapis arvensis	SINAR			99 (2)
Solanum nigrum	SOLNI			100 (5)
Spergula arvensis	SPRAR	80 (1)		
Stellaria media	STEME	94 (5)	100 (1)	100 (10)
Thlaspi arvense	THLAR	58 (2)	100 (1)	77 (2)
Veronica arvensis	VERAR	38 (1)		
Veronica hederifolia	VERHE	20 (10)	34 (8)	
Veronica triphyllos	VERTR	20 (1)	20 (1)	
Vicia villosa	VICVI	100 (1)		
Viola arvensis	VIOAR	24 (13)	26 (10)	48 (4)

POLAR* also controlled weeds typically occurring in spring crops such as *Solanum nigrum* and *Polygonum aviculare* at high levels. At later application timing and on more mature weeds there was no decrease in efficacy of *G. aparine*, *Matricaria* spp. and *C. cyanus* (see graphs below) while cruciferous weeds and *P. rhoeas* showed significantly lower level of control when treated at later growth stages. When comparing POLAR* at 200 ml/ha to registered rates of Primus* (100-150 ml/ha), the efficacy of POLAR was equivalent on important target weeds independently on the application timing (*G. aparine*, *S. media* and cruciferous weeds) while *C. cyanus* and *Matricaria* spp. were both significantly better controlled by POLAR* (Tab. 2).

Tab. 2 Weed control of POLAR* (200 ml/ha) compared to Primus (100 to 150 ml) when applied at BBCH 13 to 30 and 31 to 32 in winter cereals. Figures in brackets indicate number of trials.

Tab. 2 Unkrautbekämpfung von POLAR* (200 ml/ha) im Vergleich zu Primus (100 bis 150 ml) bei Anwendung im Stadium BBCH 13 bis 30 und 31 bis 32 in Wintergetreide. Anzahl der Versuche in Klammern.

Weed species	Weed Code	POLAR 200 ml/ha		Primus 100 ml/ha	Primus 150 ml/ha
		BBCH 13-30	BBCH 31-32	BBCH 13-30	BBCH 31-32
<i>Brassica napus</i>	BRSSS	97 (2)	97 (2)	99 (2)	92 (2)
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	100 (4)	51 (3)	97 (4)	55 (3)
<i>Centaurea cyanus</i>	CENCY	98 (11)	97 (9)	70 (9)	68 (7)
<i>Cirsium arvense</i>	CIRAR	97 (2)	70 (1)	90 (1)	
<i>Galium aparine</i>	GALAP	98 (12)	94 (7)	98 (8)	91 (4)
<i>Matricaria chamomilla</i>	MATCH	99 (11)	95 (8)	92 (9)	86 (5)
<i>Matricaria inodora</i>	MATIN	98 (3)	97 (2)	94 (2)	100 (1)
<i>Myosotis arvensis</i>	MYOAR	79 (6)	86 (3)	73 (6)	81 (3)
<i>Polygonum convolvulus</i>	POLCO	99 (2)	83 (1)	100 (1)	
<i>Stellaria media</i>	STEME	94 (5)	100 (1)	93 (5)	100 (1)

3.2 Efficacy on *Galium aparine*

There was a very flat dose rate response of POLAR* when applied on *G. aparine* at early timings, however later application timings revealed the need for the highest dose rate. *G. aparine* treated at early timings (\leq BBCH 30 of the crop) had an average size of 10 cm (5 to 15 cm) while more advanced and late applied plants ($>$ BBCH 30) averaged 15 cm (10 to 19 cm). The level of control achieved at 200 ml/ha was equivalent to 100 to 150 ml/ha Primus* and slightly superior to the standard when applied at those timings (Fig. 1). The lowest tested rate of POLAR* showed significantly less control when applied on larger weeds (68 %) compared to 94 % when *G. aparine* plants were treated at earlier growth stages.

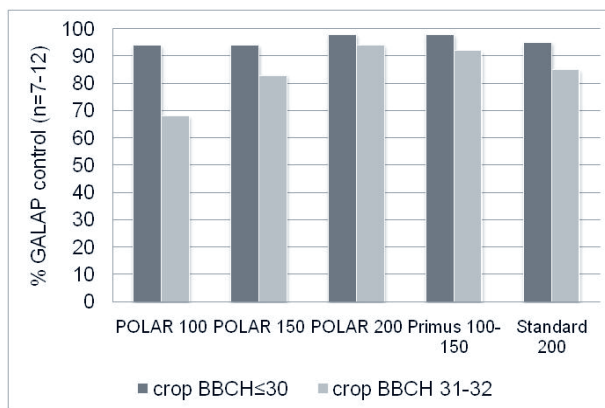


Fig. 1 Efficacy of different rates of POLAR*, Primus* and standard B on *G. aparine* applied at different growth stages. Rate unit of POLAR* and Primus* in ml/ha, standard B in g/ha, n = number of trials.

Abb. 1 Wirkungsgrade unterschiedlicher Aufwandmengen von POLAR*, Primus* und Standard B auf *G. aparine* zu unterschiedlichen Wachstumsstadien. Aufwandmenge von POLAR* und Primus* in ml/ha, Standard B in g/ha, n = Anzahl Versuchsergebnisse.

3.3 Efficacy on *Matricaria* spp.

On *Matricaria* spp., POLAR* was also tested with dose rates of 100, 150 and 200 ml/ha at different application timings and on weeds varying in size. At early application timing, *Matricaria* spp. reached 7 cm on average (3 to 15 cm) and plants at late application timing were 18 cm on average (6 to 32 cm) tall. There was a clear dose response on early and late growth stages of larger *Matricaria* spp. plants whereas the highest tested POLAR* rate provided very high level of control, regardless of the application timing (Fig. 2).

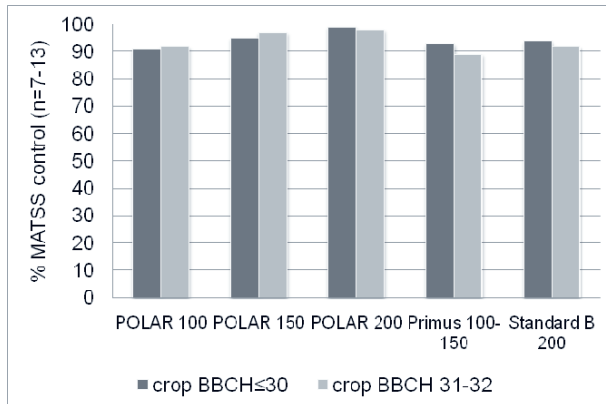


Fig. 2 Efficacy of different rates of POLAR*, Primus* and standard B on *M. chamomilla* and *M. inodora* applied at different growth stages. Rate unit of POLAR* and Primus* in ml/ha, standard B in g/ha, n = number of trials.

Abb. 2 Wirkungsgrade unterschiedlicher Aufwandmengen von POLAR*, Primus* und Standard B auf *M. chamomilla* und *M. inodora* zu unterschiedlichen Wachstumsstadien. Aufwandmenge von POLAR* und Primus* in ml/ha, Standard B in g/ha, n = Anzahl Versuchsergebnisse.

3.4 Efficacy on *Centaurea cyanus*

POLAR* was tested on *C. cyanus* at use rates of 100, 150 and 200 ml/ha at different application timings in winter cereals (BBCH ≤ 30 and 31 to 32). As a result, the size of the weed varied significantly. At early application timing the average size of the *C. cyanus* plants was 9 cm (4 to 15 cm), when applied late plants had much larger size and measured 21 cm on average (13 to 35 cm). Efficacy of POLAR* at target rate of 200 ml/ha did not differ, regardless of plant growth stage at time of application (Fig. 3). Even the lowest tested dose rate showed better control than Primus* at 100 to 150 ml/ha and a second standard at 200 g/ha (commercial rates).

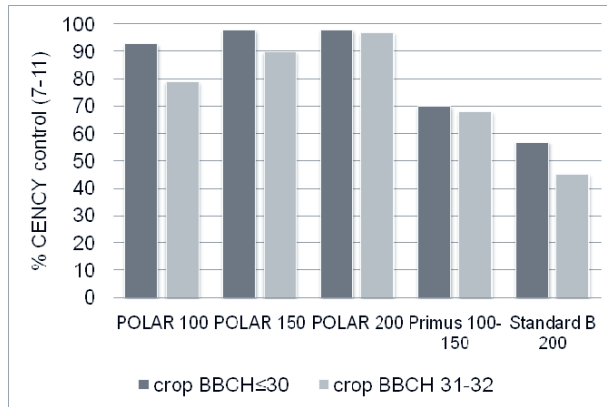


Fig. 3 Efficacy of different rates of POLAR*, Primus* and standard B on *C. cyanus* applied at different growth stage ranges. Rate unit of POLAR* and Primus* in ml/ha, standard B in g/ha, n = number of trials.

Abb. 3 Wirkungsgrade unterschiedlicher Aufwandmengen von POLAR*, Primus* und Standard B auf *C. cyanus* zu unterschiedlichen Stadien. Aufwandmenge von POLAR* und Primus* in ml/ha, Standard B in g/ha, n = Anzahl Versuchsergebnisse.

3.5 Crop selectivity and yield response

The application of POLAR* in winter and spring cereals has demonstrated good crop selectivity when applied from BBCH 13 till 30/32. Visible phytotoxicity symptoms were observed only when application was followed by periods of very cold temperatures, especially at the early application timings (< BBCH 30) and in case of varying temperatures between day and night. If symptoms occurred they were minor and transient and disappeared within 2 to 3 weeks. Selectivity trials were set up with target dose rate (200 ml/ha) and double rate (400 ml/ha). Good crop selectivity was also reflected by yield results (Tab. 3) carried out in weed free situations, where POLAR* at 200 and 400 ml/ha did not reduce crop grain yield in any trial.

Yield was also measured in numerous efficacy trials conducted in 2009 and 2010. There was a yield benefit that resulted from weed control by eliminating competitive weeds (Tab. 4). Positive yield response was well pronounced in winter cereals (11 to 13 %), and slightly less in spring cereals (7 to 13 %).

Tab. 3 Yield response (as percent of untreated check) of POLAR* at 200 and 400 ml/ha when applied to winter and spring cereals at BBCH 13 to 32(30) in weed free situations (number of trials in brackets).

Tab. 3 Ertragseinfluß (relativ zur unbehandelten Kontrolle) von POLAR* mit 200 und 400 ml/ha in Winter- und Sommergetreide zu BBCH 13 bis 32(30) unter unkrautfreien Bedingungen (Anzahl der Versuche in Klammern).

Use rate	Winter wheat	Winter barley	Winter rye	Winter triticale	Winter spelt	Spring barley	Spring wheat	Spring oat	Spring durum
200 ml/ha	100 (14)	101 (12)	100 (10)	100 (10)	101 (4)	101 (12)	101 (8)	101 (10)	101 (6)
400 ml/ha	101 (14)	100 (12)	100 (10)	100 (10)	102 (4)	101 (12)	101 (8)	101 (10)	101 (6)

Tab. 4 Yield response (as percent of untreated check) of POLAR* at 200 ml/ha and standard B at 200 g/ha when applied to winter and spring cereals in trials with weed infestation (number of trials in brackets).

Tab. 4 Ertragsinfluß (relativ zur unbehandelten Kontrolle) von POLAR* mit 200 ml/ha und Standard B mit 200 g/ha in Winter- und Sommergetreide in Versuchen mit Unkrautbesatz (Anzahl der Versuche in Klammern).

Product	Winter wheat	Winter barley	Winter rye	Winter triticale	Spring barley	Spring wheat	Spring oat
POLAR 200 ml/ha	112 (2)	111 (2)	111 (2)	113 (2)	113 (1)	109 (2)	107 (2)
Standard B 200 g/ha	112 (2)	107 (2)	103 (2)	112 (2)	112 (1)	116 (2)	-

3.6 Impact on following crops

The impact on following crops was assessed with the target and double dose rate, too. Potential succeeding crops tested were catch crops, winter oil seed rape, winter cereals (in the year of application of POLAR*) and spring cereals, spring oil seed rape, potatoes, maize, legume crops and sugar beet. Field trial results did not show any phytotoxicity symptoms in any tested following crop.

4. Discussion

POLAR* is a new herbicide containing the active ingredients florasulam and clopyralid. Clopyralid is now available in combination with florasulam and expanding significantly the weed spectrum and flexibility in timing of application compared to application of florasulam alone. In spring, post-emergence applied POLAR* controls dicotyledonous weeds such as *G. aparine*, *Matricaria* spp., *C. cyanus*, *S. media*, cruciferous weeds (*Brassica* spp. and others), *Polygonum* spp. and others. In recent years, *C. cyanus* has increased in frequency of occurrence in cereal production systems. POLAR* provides excellent control of *C. cyanus*, *G. aparine* and *Matricaria* spp. even when larger weeds are treated. This flexibility is a great benefit to the farmer for three reasons. First, POLAR* can be a rescue treatment when autumn applied herbicide failed. Second, POLAR* gives farmers more flexibility to shift plant protection measures to accommodate personnel workload adjustments. Third, POLAR* provides farmers opportunity to combine weed control with other later applied pesticides, such as fungicides.

POLAR* can be applied very safely to winter and spring cereals and it increases grain yield, depending on weed spectrum and cereals crop, approximately 10 % by controlling weeds.

Since POLAR* contains florasulam, it provides excellent control of *G. aparine* even under cold conditions as shown by BECKER et al. (2000) and BECKER et al. (2002). In addition, recent studies have shown that florasulam (belonging to the triazolo-pyrimidines) generally still controls ALS target-site-resistant *Matricaria recutita* which is no longer controlled by sulfonylurea herbicides (SCHLEICH-SAIDFAR et al., 2011). Further studies will help to understand to what extent the addition of clopyralid to florasulam (i.e. the product POLAR*) will provide even more robust control of ALS target-site-resistant *Matricaria* spp. As a consequence, POLAR* combines the benefits of a broad control spectrum with the flexibility to spray under cooler conditions and when weeds, such as *G. aparine*, *Matricaria* spp. and *C. cyanus*, are at later growth stages.

References

- BECKER, J., E. SCHMOLKE, J. ZINK, P. DANIAU AND A.R. THOMPSON, 2000: UNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUSS NIEDRIGER TEMPERATUREN UND AHL AUF DIE WIRKSAMKEIT DES NEUEN GETREIDEHERBIZIDS PRIMUS. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRAUKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVII**, 525-530.
- BECKER J., I. ERDEI AND J.Y. MERCHEZ, 2002: DOW 00300H – EIN NEUES NACHAUFLAUFHERBIZID ZUR BEKÄMPFUNG VON DIKOTYLEN UNKRÄUTERN IN GETREIDE. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRAUKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 705-713.

- SCHLOTTER P., J. ZINK, R. FORTMEIER, E. SCHMOLKE, A.R. THOMPSON AND A. MCREATH, 1986: FLORASULAM – EIN NEUER WIRKSTOFF ZUR BEKÄMPFUNG VON BREITBLÄTTRIGEN UNKRÄUTERN IN GETREIDE. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT X**, 527-534.
- SCHLEICH-SAIDFAR C, H.G. DROBNY, J. PEREZ, M. FEIERLER, F.G. FELSENSTEIN, J.R. GERTZ AND N. BALGHEIM, 2011: OBSERVATIONS, FIELD TRIALS AND ANALYSIS OF A SPECIAL POPULATION OF MAYWEED (*MATRICARIA RECUTITA*) WITH RESISTANCE AGAINST ALS-INHIBITORS IN SCHLESWIG-HOLSTEIN (GERMANY). JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PLANT PROTECTION **118**, 87.

Trinity® – die innovative Kombination von drei herbiziden Wirkstoffen zur Nachauflaufanwendung im Getreide

Trinity® - the innovative mixture of three herbicidal ingredients for post-emergence application in cereals

Jürgen Bontenbroich

Feinchemie Schwebda GmbH, Edmund-Rumpler-Str. 6, D-51149 Köln

Juergen.Bontenbroich@FCS-Feinchemie.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.059

Zusammenfassung

Trinity ist ein neues Getreideherbizid zur Bekämpfung von Gemeinem Windhalm, Einjährigem Rispengras und dikotylen Unkräutern im Herbst. Die Zulassung umfasst die Anwendung in Wintergerste, -weizen, -roggen sowie in Wintertriticale im Nachauflauf (Herbst, BBCH 10-13) mit einer Aufwandmenge von 2,0 l/ha. Trinity besteht aus der erstmals in Deutschland zugelassenen Wirkstoffkombination von Diflufenican (40 g/l), Pendimethalin (300 g/l) und Chlortoluron (250 g/l). Alle drei Wirkstoffe besitzen einen unterschiedlichen Wirkungsmechanismus und sind verschiedenen HRAC-Klassen zugeordnet: F1 (Diflufenican), K1 (Pendimethalin) und C2 (Chlortoluron). Die einzigartige Kombination dieser Wirkstoffe führt zu einem sehr breiten Wirkungsspektrum und erfasst neben *Apera spica-venti* und *Poa annua* eine Vielzahl dikotyler Unkräuter. Gegen schwer bekämpfbare Unkräuter wie *Papaver rhoeas*, *Centaurea cyanus* und *Geranium* spp. werden ebenfalls hohe Wirkungsgrade erzielt. Aufgrund der optimal abgestimmten Wirkstoffanteile in Trinity wird zudem eine sehr gute Kulturverträglichkeit in allen Getreidearten erreicht. Günstige Auflagen runden das Profil der neuen 3er-Kombination ab. Dieser Beitrag zeigt, anhand von mehrjährigen deutschen Versuchsergebnissen, das Wirkungsspektrum und die Kulturverträglichkeit von Trinity.

Stichwörter: Chlortoluron, Diflufenican, Herbizid, Pendimethalin, Unkrautbekämpfung

Summary

Trinity is a new herbicide for the control of silky-bent grass, annual meadow grass and annual dicotyledonous weeds in cereals in autumn. The registration covers the use in winter barley, winter wheat, winter rye and winter triticale at a maximum dose rate of 2.0 l/ha Trinity as a post-emergence application (autumn, GS 10-13). Trinity is the first registered three-way mixture of the three established ingredients diflufenican (40 g/l), pendimethalin (300 g/l) and chlortoluron (250 g/l). All ingredients have a different mode of action according to HRAC classification: F1 (diflufenican), K1 (pendimethalin) and C2 (chlortoluron). This unique three-way mixture in Trinity leads to a very high efficacy against *Apera spica-venti* and *Poa annua* and against a broad spectrum of dicotyledonous weeds including less sensitive weeds like *Papaver rhoeas*, *Centaurea cyanus* und *Geranium* spp.. Due to the optimal balanced amount of ingredients, Trinity has also a very good selectivity in all registered cereals. Furthermore, the advantageous regulatory restrictions of Trinity increase the attractiveness for practical use. Based on the results of multi-annual German field trials, this paper shows the efficacy and the selectivity of Trinity.

Keywords: Chlortoluron, diflufenican, herbicide, pendimethalin, weed control

1. Einleitung

Seit mehreren Jahrzehnten bilden die Wirkstoffe Diflufenican, Pendimethalin und Chlortoluron eine solide Basis zur Unkrautbekämpfung in Getreide im Herbst. Daher finden sich diese Wirkstoffe in zahlreichen Kombinationen mit anderen herbiziden Wirkstoffen wieder. Der Wirkstoff Diflufenican ist derzeit in Deutschland nicht als Einzelwirkstoff zugelassen, sondern nur in Kombination mit anderen herbiziden Wirkstoffen, wie z.B. mit Flufenacet im Handelsprodukt Herold® SC, einsetzbar. Für Pendimethalin und Chlortoluron stehen sowohl Handelsprodukte mit den Einzelwirkstoffen als auch Kombinationen mit maximal einem weiteren Wirkstoff zur Verfügung. Mit der 2010 erteilten Zulassung für Trinity (Zulassungsnummer: 006797-00; Zulassungsanfang: 22.12.2010) wurden die drei bewährten Wirkstoffe Diflufenican, Pendimethalin und Chlortoluron erstmalig in einer Fertigformulierung vereint.

Der Wirkstoff Diflufenican wird durch den keimenden Spross über das Hypokotyl und die Keimwurzeln aufgenommen. Bei aufgelaufenen Unkräutern und Ungräsern erfolgt die

Wirkstoffaufnahme auch über das Blatt. Der Wirkstoff greift in die Carotinoid-Biosynthese ein (Bleaching-Effekt), was zu einem verstärkten Chlorophyll-Abbau führt.

Pendimethalin hingegen hemmt die Zellteilung und Zellstreckung. Die Wirkstoffaufnahme erfolgt sowohl über das Blatt, die Wurzel als auch über die Koleoptile und das Hypokotyl.

Chlortoluron wird von den Pflanzen ebenfalls über das Blatt und die Wurzel aufgenommen. Im Nachauflauf wird Chlortoluron von Ungräsern vornehmlich über die Wurzel und von dikotylen Unkräutern über das Blatt aufgenommen und führt in der Pflanze zur Hemmung der Photosynthese (Lichtreaktion II).

Aufgrund der beschriebenen Stoffeigenschaften wirkt Trinity zum größten Teil über den Boden und nur in geringem Anteil über das Blatt, so dass bei feuchten Bodenverhältnissen die höchsten Wirkungsgrade erreicht werden. Die Entwicklung der Wirkstoffkombination in Trinity hatte zum Ziel, ein anwenderfreundliches Produkt mit breitem Wirkungsspektrum, guter Kulturverträglichkeit und günstigen Auflagen für die Praxis zu schaffen. Das Ziel der nachfolgend beschriebenen Feldversuchsprogramme war die Prüfung des Wirkungsspektrums und der Kulturverträglichkeit dieser innovativen Fertigmischung.

2. Material und Methoden

2.1 Mehrjährige Feldversuche zur Wirksamkeit

Das als Suspensionskonzentrat (SC) formulierte Getreideherbizid Trinity wurde in den aufgezeigten Versuchen mit seiner maximal zugelassenen Aufwandmenge von 2,0 l/ha in allen zugelassenen Getreidearten eingesetzt. Dies entspricht einer Gesamtwirkstoffmenge pro Hektar von 80 g Diflufenican, 600 g Pendimethalin und 500 g Chlortoluron. Die Applikationen fanden entsprechend des zugelassenen Anwendungszeitpunktes im Nachauflauf des Getreides (Herbst, BBCH 10-13) statt. Die zugrundeliegenden Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit jeweils (3-) 4 Wiederholungen und einer jeweiligen Parzellengröße von 24-30 m² angelegt. Die Endboniturwerte, die im nachfolgenden als prozentuale Wirksamkeit im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle aufgeführt sind, wurden 27-33 Wochen nach der Applikation ermittelt. Das Vergleichsmittel war ein Fertigprodukt aus 250 g/l Flurtamone und 120 g/l Diflufenican, das im Zeitraum der Versuchsanlegungen als Standardprodukt bzw. -maßnahme in der Praxis zum Einsatz kam.

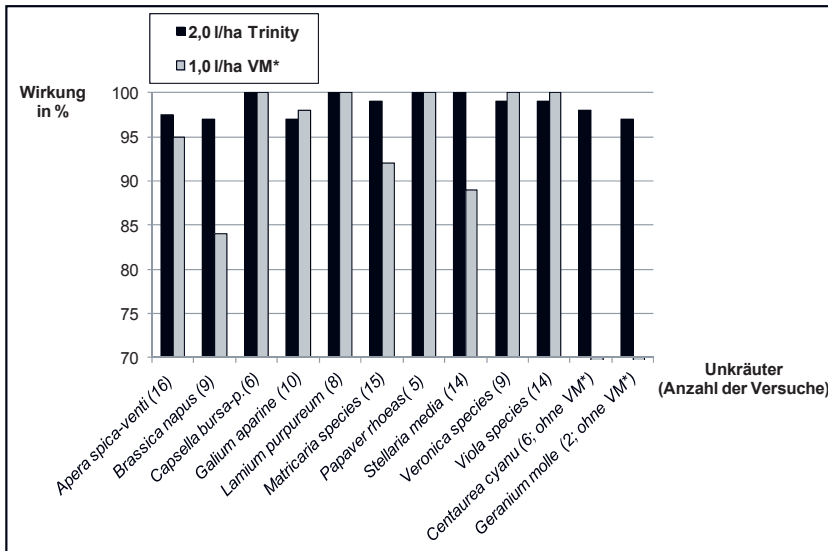
2.2 Mehrjährige Feldversuche zur Kulturverträglichkeit

Zur Beurteilung der Kulturverträglichkeit von Trinity wurden mehrjährige Feldversuchsergebnisse aus Wirksamkeitsversuchen von 2005-2007 (n = 24: 2005 (9), 2006 (10), 2007 (5)) mit der zugelassenen Aufwandmenge von 2,0 l/ha nach visueller Kultur-Phytotoxizität und Ertrag im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle ausgewertet. Als Vergleichsprodukte dienten 1,0 l/ha des Fertigprodukts aus 250 g/l Flurtamone und 120 g/l Diflufenican sowie 0,5 l/ha Herold SC (400 g/l Flufenacet; 200 g/l Diflufenican). Die Versuche wurden in allen zugelassenen Getreidearten durchgeführt. Entsprechend des zugelassenen Anwendungszeitpunktes fanden die Applikationen im Nachauflauf des Getreides (Herbst, BBCH 10-13) statt. Die zugrundeliegenden Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit jeweils (3-) 4 Wiederholungen angelegt und verfügten über eine Parzellengröße von 24-30 m². Es wurden zu verschiedenen Terminen Bonituren auf Chlorosen, Nekrosen, Aufhellungen, Wachstumsverzögerungen und Ausdünnung durchgeführt. Für die u. a. Versuchsauswertung wurde die erste Bonitur (2-4 Wochen nach der Applikation) auf Chlorosen und Nekrosen ausgewertet. Die Ergebnisse der Selektivitätsversuche sind anhand von Symptomklassen gemäß EPP0-Richtlinie (PP1/135 (3), 2006) in Prozent (%) zur unbehandelten Kontrolle dargestellt. Zur statistischen Absicherung wurden folgende Methoden angewendet: Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$), Duncan' New MRT ($\alpha = 0,05$) oder F-Test.

3. Ergebnisse

3.1 Wirksamkeit

Die Wirksamkeit der zugelassenen Aufwandmenge von 2,0 l/ha Trinity ist in Abbildung 1 dargestellt. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass Trinity sowohl hohe Wirkungsgrade gegen *Apera spica-venti* als auch gegen ein breites dikotylen Unkrautspektrum erzielt. Neben *Brassica napus*, *Matricaria spp.*, *Galium aparine* u. a. dikotylen Unkräutern werden auch Unkräuter wie *Papaver rhoeas*, *Centaurea cyanus* und *Geranium molle* erfasst, die von einigen bisher zugelassenen Produkten nicht ausreichend bekämpft werden.



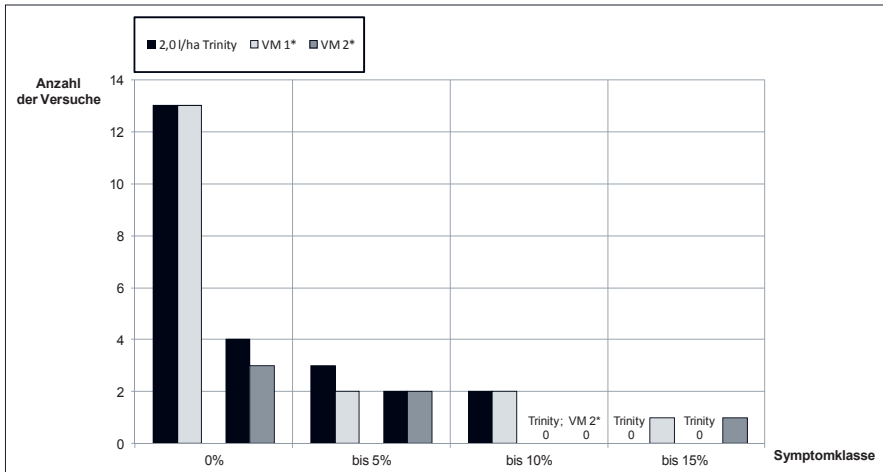
* 1,0 l/ha VM: 250 g/l Flurtamone und 120 g/l Diflufenican

Abb. 1 Wirkung von 2,0 l/ha Trinity vs. Vergleichsmittel.

Fig. 1 Efficacy of 2.0 l/ha Trinity vs. standard product.

3.2 Kulturverträglichkeit

In Abbildung 2 ist der Selektivitätsvergleich der maximal zugelassenen Aufwandmengen von Trinity mit 2,0 l/ha zur unbehandelten Kontrolle und zu zwei Vergleichsmitteln nach Symptomklassen dargestellt. Von den insgesamt 24 Feldversuchen traten in 17 Versuchen keine Kulturreaktionen nach der Anwendung von Trinity auf. In fünf Versuchen waren sehr geringe Symptome (< 5%) zu verzeichnen und in zwei Versuchen gab es leichte Kulturreaktionen bis 10%. In den Symptomklassen 11-15% war Trinity nicht vertreten. Auch bei der Gegenüberstellung zu den Resultaten der getesteten Vergleichsmittel weist Trinity eine sehr gute Kulturverträglichkeit auf.

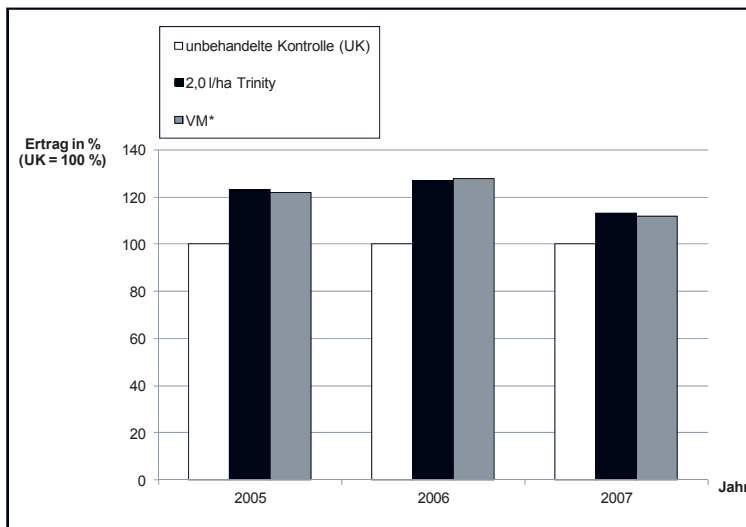


* VM 1: 250 g/l Flurtamone und 120 g/l Diflufenican (1,0 l/ha; n=18); VM 2: Herold SC (0,5 l/ha; n=6):

Abb. 2 Verträglichkeit von 2,0 l/ha Trinity vs. Vergleichsmittel.

Fig. 2 Selectivity of 2.0 l/ha Trinity vs. standard product.

Die Betrachtung der Ertragsergebnisse zu den oben aufgeführten Wirksamkeitsversuchen zeigte sowohl beim Einsatz von Trinity als auch beim Einsatz der Vergleichsprodukte signifikante Ertragssteigerungen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Abb. 3). Der Herbizideinsatz brachte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle einen durchschnittlichen Mehrertrag von 20 %. Bei den sieben Versuchen mit leichten Kulturreaktionen nach dem Herbizideinsatz, konnten bei keinem der getesteten Produkte signifikante Ertrags- oder Qualitätsunterschiede festgestellt werden. Weiterhin wurde im Rahmen der Zulassung separat in insgesamt 19 Versuchen die Selektivität bei der dreifachen Aufwandmenge, d. h. 6,0 l/ha Trinity geprüft. Es konnten keine signifikanten Unterschiede bzgl. Ertrag und Qualität im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle festgestellt werden.



* VM: 2005, 2006: 1,0 l/ha VM: 250 g/l Flurtamone und 120 g/l Diflufenican; 2007: 0,5 l/ha VM: Herold SC

Abb. 3 Erträge (dt/ha) von 2,0 l/ha Trinity vs. Vergleichsmittel im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (100 %).

Fig. 3: Yield quantity (dt/ha) of 2.0 l/ha Trinity vs. standard product and untreated variant.

Nicht aufgeführt in diesem Beitrag sind die Feldversuchsergebnisse, die speziell die Kulturverträglichkeit in verschiedenen Weizensorten aufzeigen. Hintergrund dieser Versuchsfrage war, dass es bei einigen Weizensorten beim Einsatz derzeit zugelassener Chlortoluron-haltiger Produkte zu starken Kulturreaktionen kommen kann, weshalb die Hersteller diese Sorten vom Einsatz ausschließen. Mit den derzeit zugelassenen Chlortoluron-haltigen Produkten – mit Ausnahme von Trinity – werden beim Einsatz der maximal zugelassenen Aufwandmengen 1500 – 2100 g Chlortoluron/ha ausgebracht. Die maximal mögliche Chlortoluron-Menge beim Trinity-Einsatz beträgt demgegenüber nur 500 g/ha. Aus diesem Grund wurden seit 2009 Versuche mit den Chlortoluron-empfindlichsten Weizensorten mit drei Wiederholungen angelegt, die Weizenpflanzen auf Kulturverträglichkeit bonitiert und beerntet. Dies erfolgte sowohl für die maximal zugelassene Aufwandmenge von 2,0 l/ha Trinity (500 g Chlortoluron/ha) als auch für die doppelte Aufwandmenge von 4,0 l/ha (1000 g Chlortoluron/ha). Ergebnis dieser Versuche war, dass es selbst bei der doppelten Aufwandmenge von 4,0 l/ha Trinity bei keiner Sorte zu signifikanten Ertragsunterschieden im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle kam. Die Versuche werden zukünftig weiter fortgeführt und ggf. an anderer Stelle veröffentlicht.

4. Diskussion

Zur Unkrautbekämpfung in Getreide im Herbst bilden die Wirkstoffe Diflufenican, Pendimethalin und Chlortoluron seit mehreren Jahrzehnten eine zuverlässige Basis und finden sich in zahlreichen Produkten in unterschiedlichen Kombinationen wieder. Vor der Zulassung von Trinity hat es weder die Wirkstoffkombination Diflufenican, Pendimethalin und Chlortoluron noch die Kombination Diflufenican und Pendimethalin als zugelassene Fertigformulierung gegeben. Mit der Zulassung von Trinity steht somit erstmals diese innovative Wirkstoffkombination im Getreidebau zur Verfügung.

Die vorliegenden Ergebnisse zur Wirksamkeit von Trinity zeigen, dass die Kombination von Diflufenican (40 g/l), Pendimethalin (300 g/l) und Chlortoluron (250 g/l) ein sehr breites Unkrautpektrum abdeckt. Sowohl *Apera spica-venti* als auch eine Vielzahl bedeutender dikotyler Unkräuter werden beim Einsatz von 2,0 l/ha Trinity zuverlässig erfasst. Neben *Brassica napus*, *Matricaria spp.*, *Galium aparine* u. a. dikotylen Unkräutern werden auch gegen Unkräuter wie *Papaver rhoeas*, *Centaurea cyanus* und *Geranium molle*, die von einigen bisher zugelassenen Produkten nicht ausreichend bekämpft werden, hohe Wirkungsgrade erreicht. Auch im Vergleich zum getesteten Standardprodukt überzeugt Trinity durch sein großes Wirkungsspektrum und hohes Wirkungsniveau.

Neben der sehr guten Wirksamkeit sichern die ausgewogenen Wirkstoffgehalte gleichzeitig eine sehr gute Verträglichkeit in allen zugelassenen Getreidearten. Im Vergleich zu den getesteten Standardprodukten konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt werden. Weiterhin wurde auf die bisher durchweg positiven Ergebnisse – speziell im Hinblick auf Chlortoluron-empfindliche Weizensorten - in diesem Beitrag hingewiesen. Dieses Versuchsprogramm wird zukünftig weiter fortgeführt und die Ergebnisse werden ggf. an anderer Stelle veröffentlicht.

Seit der Zulassung von Trinity steht deutschen Landwirten eine innovative anwenderfreundliche Fertigformulierung zur Verfügung, die aufgrund ihres ausgewogenen Wirkstoffverhältnisses ein sehr breites Wirkungsspektrum und eine sehr gute Kulturverträglichkeit besitzt. Zudem resultieren aus den genau aufeinander abgestimmten Wirkstoffgehalten günstige Auflagen, so dass z. B. im Gegensatz zu den bisherigen Chlortoluron-haltigen Produkten mit Trinity auch ein Einsatz auf drainierten Flächen möglich ist.

Hinweis: * die aufgeführten Handelsnamen sind registrierte Warenzeichen der Hersteller.

Literatur

AGRICULTURE & ENVIRONMENT RESEARCH UNIT (AERU), 2011: UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE:
[HTTP://SITEM.HERTS.AC.UK/AERU/FOOTPRINT/EN/REPORTS/151.HTM](http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/en/reports/151.htm), 2011.

BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL), 2011: PFLANZENSCHUTZMITTEL-VERZEICHNIS TEIL 1, 2000-2011.

BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL), 2011: [HTTPS://PORTAL.BVL.BUND.DE/PSM/JSP/](https://portal.bvl.bund.de/psm/jsp/), 2011.

BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL), 2011:
[HTTP://WWW.BVL.BUND.DE/SHAREDDOCS/DOWNLOADS/04_PFLANZENSCHUTZMITTEL/01_ZULASSUNGSBERICHTE/006797_00_00.PDF?__BLOB=PUBLICATIONFILE&v=2](http://www.bvl.bund.de/shareddocs/downloads/04_pflanzenschutzmittel/01_zulassungsberichte/006797_00_00.pdf?__blob=publicationfile&v=2), 2011.

BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL): [HTTPS://PORTAL.BVL.BUND.DE/PSM/JSP/](https://portal.bvl.bund.de/psm/jsp/), 2011.

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION, 2006: EPPO-RICHTLINIE PP1/135 (3), PHYTOTOXICITY ASSESSMENT, 2006.

FEINCHEMIE SCHWEBDA GMBH, 2010: FIRMENEIGENE VERSUCHE, DEUTSCHLAND, 2005-2010.

HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (HRAC), 2011: [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG/SUMMARY/MOASUMMARY.ASP](http://www.weedscience.org/summary/moasummary.asp), 2011.

KLEFFMANN GROUP, 2011: AGRARMARKTFORSCHUNGSSTUDIEN, 2005-2011.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2011: EMPFEHLUNGEN 2011. PFLANZENBAU UND PFLANZENSCHUTZ, 187.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, 2011: UNKRAUTBEKÄMPFUNG IM GETREIDE. RATGEBER PFLANZENBAU UND PFLANZENSCHUTZ, 184.

LÜTKE ENTRUP, N. UND J. OEHMICHEN, 2000: LEHRBUCH DES PFLANZENBAUES, BAND 2: KULTURPFLANZEN, 231-234.

THE PESTICIDE MANUAL, 1997: CHLORTOLURON, 229-231; DIFLUFENICAN, 397-399; PENDIMETHALIN, 937-939; ELEVENTH EDITION.

ELUMIS® – Ein moderner Baustein zur vereinfachten Unkraut- und Ungrasbekämpfung in Mais

ELUMIS® – A modern component for simplified broad-leaved and grass weed control in maize

Martin Schulte* & Magnus Steinheuer

Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, D-63477 Maintal

*Korrespondierender Autor, martin.schulte@syngenta.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.060

Zusammenfassung

ELUMIS® ist ein neues flüssig formuliertes Maisherbizid, welches das gegen annuelle Hirsen und dikotyle Arten wirksame Triketon Mesotrione und den vorwiegend grasaktiven Sulfonylharnstoff Nicosulfuron enthält. Es wurde in den Jahren 2007 bis 2010 in europäischen Ländern der maritimen, süd- und nordöstlichen EPPO-Klimazonen unter Feldbedingungen in Mais auf Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit geprüft. Eine wesentliche Neuerung gegenüber üblichen Tankmischungen auf Basis der Einzelwirkstoffe in ELUMIS ist die Formulierungstechnologie: Mit einer Öldispersion wurde die weltweit erste Fertigformulierung aus einem Sulfonylharnstoff und einem Triketon erreicht und somit eine deutliche Verbesserung der Handhabung gegenüber bisher üblichen Tankmischungen entsprechender Einzelkomponenten erreicht. Aufnahmeuntersuchungen mit ¹⁴C-markierten Wirkstoffen ergaben bei der Öldispersion ELUMIS sowohl für Mesotrione als auch für Nicosulfuron eine raschere Blattaufnahme in Schadhirs und Unkräutern als bei den bisher erhältlichen Einzelformulierungen oder einer Tankmischung. Mit einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha erfasst ELUMIS vom frühen bis zum späten Nachauflauf neben einem breiten Spektrum von Unkräutern in Mais auch einjährige Schadhirs, Flughafer, Ackerfuchsschwanz, Einjähriges Rispengras sowie die ausdauernden Arten Deutsches Weidelgras und Gemeine Quecke. Eine vergleichende Prüfung der Maisverträglichkeit von ELUMIS in umfangreichen Sortenversuchen ergab, dass ELUMIS in nahezu allen bei uns angebauten Maissorten sehr gut verträglich ist. Auf Böden mit einem pH-Wert über 6 und einer Ackerzahl über 30 besteht kein nennenswertes Schädigungspotenzial für auf Mesotrione empfindlich reagierende Hauptkulturen. ELUMIS ist vorwiegend blattaktiv; es kann bei Bedarf mit Residualwirkstoffen wie S-Metolachlor (in DUAL® GOLD und GARDO® GOLD) oder Terbutylazin (ebenfalls in GARDO® GOLD) kombiniert werden, um damit neben der sofortigen Blattwirkung auch eine Dauerwirkung auf nach der Anwendung keimende Hirsen und dikotyle Arten zu erreichen. Tankmischungen mit Wirkstoffen gegen dikotyle Unkräuter erhöhen darüber hinaus die Wirkungssicherheit auch bei schwierig bekämpfbare Arten, z. B. *Polygonum aviculare*.

Stichwörter: Herbizid, Mesotrione, Nicosulfuron, Öldispersion

Summary

ELUMIS® is a new liquid maize herbicide containing mesotrione for control of annual millets and dicotyledonous weeds and nicosulfuron for control of grasses. Field testing on efficacy and crop tolerance of ELUMIS in maize was conducted in Europe in the maritime, south-eastern and north-eastern EPPO climate zone from 2007 to 2010. Essential innovation as compared to common tankmixtures of the sole ingredients of ELUMIS is the formulation technology for easy handling: The oil dispersion is the first formulation combining a triketone and a sulfonylurea. Uptake studies using ¹⁴C-labelled active ingredients revealed for both mesotrione and nicosulfuron a faster foliar uptake from the ELUMIS formulation than from single a. i. formulations or a tankmixture. 1.5 l/ha ELUMIS applied from early to late post-emergence control a broad spectrum of broad-leaved weeds and grasses including perennials such as *Lolium perenne* and *Agropyron repens*. Comparative tests on various maize varieties revealed good crop tolerance in nearly all maize hybrids currently grown in Central Europe. In Central Europe on loamy soils with a pH above 6 the potential for a rotational crop injury is negligible for all main crops sensitive to mesotrione. ELUMIS primarily offers foliar activity; if required it can be combined with residual partners such as S-metolachlor (in DUAL® GOLD or GARDO® GOLD) or terbutylazine (also in GARDO® GOLD) to achieve apart from foliar also a satisfactory duration of activity on those grasses and dicotyledonous weeds germinating after application. Apart from this, tankmixtures of ELUMIS and other herbicides for broad-leaved weed control enhance the reliability of efficacy on difficult to control species, e. g. *Polygonum aviculare*.

Keywords: Herbicide, mesotrione, nicosulfuron, oil dispersion

1. Einleitung

In Mais stellt die Unkraut- und Ungrasbekämpfung die vorrangige Pflanzenschutzmaßnahme dar. Unkräuter in Mais treten auf vielen Standorten vergesellschaftet mit Ungräsern, allen voran den Wärme liebenden annuellen Hirsen, auf. Das in konventionellen Maissorten verfügbare kulturselektive Herbizid-Wirkstoffportfolio erlaubt aber im Nachauflauf keine gleichzeitige Bekämpfung aller wichtigen einjährigen Unkräuter und eines breiten Spektrums in Mais vorkommender Ungräser, einschließlich Hirse-Arten, mit nur einem Wirkstoff. Insbesondere die maisselektive Bekämpfung von Quecke, Ausfallgetreide und Flughafer ist bisher ausschließlich mit Sulfonylharnstoff-Präparaten im Nachauflauf möglich. Im mitteleuropäischen Maisanbau finden daher in der chemischen Unkrautbekämpfung Spritzfolgen oder Tankmischungen aus Präparaten mit Wirkungsschwerpunkt gegen dikotyle Arten und solchen gegen Ungräser verbreitet Anwendung. Hier bietet ELUMIS® dem Anwender eine deutlich einfachere Handhabung. Die flüssige Fertigformulierung ermöglicht die Bekämpfung der gesamten, in Mais bedeutsamen Unkraut- und Ungrasflora mit nur einer Überfahrt.

Generell stellt ELUMIS das Ergebnis langwieriger Formulierungsbemühungen dar, einen maisselektiven Sulfonylharnstoff mit einem Triketon in einer flüssigen Formulierung zu kombinieren. Damit ist es nun erstmalig gelungen, das gegen dikotyle Arten und annuelle Hirsen gerichtete Triketon Mesotrione (75 g/l) mit dem vorwiegend gegen Gräser wirksamen maisselektiven Sulfonylharnstoff Nicosulfuron (30 g/l) in einer flüssigen Formulierung zu kombinieren. Ziel der vorliegenden Untersuchungen war daher die Prüfung der Wirksamkeit und Maisverträglichkeit der neuartigen Formulierung unter Feldbedingungen in der maritimen EPPO-Klimazone sowie der Aufnahmekinetik der Wirkstoffe unter Gewächshausbedingungen.

2. Material und Methoden

2.1 Geprüfte Herbizide

Das geprüfte Präparat ELUMIS ist als Öldispersion (OD 105) mit 75 g/l Mesotrione und 30 g/l Nicosulfuron formuliert. Es handelt sich um eine neuartige Formulierung, die erstmals eine Kombination eines Triketon-Wirkstoffs mit einem Sulfonylharnstoff in einer wasserfreien Dispersion ermöglicht. Die in Deutschland zur Zulassung beantragte Aufwandmenge beträgt 1,5 l/ha im Nachauflauf. Geprüft wurde die Anwendung von ELUMIS vom Wachstumsstadium BBCH 11 bis BBCH 18 des Mais. Als Vergleichspräparate wurden die Wirkstoffe auf Basis der formulierten Handelsprodukte CALLISTO 100 SC (Mesotrione 100 g/l), MILAGRO 4 SC (Nicosulfuron 40 g/l), MILAGRO FORTE 6 OD (Nicosulfuron 60 g/l) oder Tankmischungen aus CALLISTO 100 SC und einem der beiden Nicosulfuron-haltigen Herbizide eingesetzt.

2.2 Feldversuche

Zur Prüfung der herbiziden Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit von ELUMIS wurden während der Jahre 2007 bis 2009 Feldversuche in Maisanbaugebieten überwiegend der maritimen EPPO-Zone (maritimes Frankreich, Deutschland, Österreich, Großbritannien, Tschechien), 2010 in Deutschland, Österreich sowie Ländern der benachbarten nord- und südöstlichen EPPO-Klimazone (Slowakei, Litauen, Lettland) angelegt. Die Versuche wurden auf natürlich verunkrauteten Standorten nach spezifischen EPPO-Richtlinien durchgeführt; sie waren drei- bis vierfach wiederholt und hatten Parzellengrößen zwischen 15 und 33,6 m². Die Maisverträglichkeit wurde in kommerziell erhältlichen und neu zur Zulassung anstehenden lokal angepassten Hybridsorten zur Silo- und Körnermaisproduktion untersucht. Die Applikation der Herbizide erfolgte mit bodengeführten Parzellenspritzgeräten mit einem Wasservolumen von 200 bis 300 l/ha, in einem Einzelfall auch mit einer Rückentragespritze mit 150 l/ha Wasser. Der Applikationszeitpunkt nach dem Auflaufen des Mais und der Unkräuter erfolgte gewöhnlich zwischen dem 2- und 8-Blatt-Stadium des Mais. Zur Erfassung der Wirkungsgrade wurde die Reduktion des Unkrautaufwuchses visuell im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert. Analog dazu erfolgte die Erfassung der Mais-Phytotoxizität mittels visueller Bonitur der Reduktion Biomasse oder von Aufhellungen des Maises im Vergleich zur unkrautfreien Kontrolle.

2.3 Gewächshausversuche

Zur Untersuchung der Aufnahmekinetik der Wirkstoffe aus ELUMIS wurden von Dezember 2009 bis Januar 2010 vierfach wiederholte Gewächshausversuche mit *Chenopodium album* und *Setaria viridis* angelegt. Zur Analyse wurden den zu prüfenden Formulierungen ELUMIS 105 OD, CALLISTO 100 SC und MILAGRO 4 SC die mit ¹⁴C-markierten Wirkstoffe Mesotrione bzw. Nicosulfuron zugesetzt. Nach vollständiger Ausbildung des vierten Blatts (*Setaria*) bzw. Laubblatts (*Chenopodium*) wurden 20 Tröpfchen einer wässrigen Emulsion bzw. Dispersion der Formulierungen zu je 0,2 µl, entsprechend einer Summe von 5000 Becquerel [Bq] Mesotrione oder 4000 Bq Nicosulfuron je Pflanze auf die Blattoberfläche des jüngsten Blattes der Pflanzen aufgebracht. Die Blattoberfläche wurde dann in Intervallen von 15 Minuten, 3, 6, 24 und 72 Stunden nach Applikation mit jeweils 2 ml einer Mischung aus 80 % Acetonitril und 20 % Wasser abgewaschen. Neben der Bilanzierung der aufgenommenen Wirkstoffmengen anhand der aufgetragenen und abgewaschenen Radioaktivität wurden zwei Pflanzen je Behandlung auch autoradiographisch auf die Wirkstoffverteilung nach Aufnahme untersucht (nicht dargestellt).

3. Ergebnisse

3.1 Herbicide Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit

Es zeigt sich, dass ELUMIS mit der einfachen zur Zulassung beantragten Aufwandmenge von 1,5 l/ha im Nachauflauf bei sehr guter Maisverträglichkeit ein sehr breites Wirkungspotenzial auf ein umfassendes Spektrum von einjährigen zweikeimblättrigen und einkeimblättrigen Unkraut- bzw. Ungrasarten (einschließlich Hirse-Arten und *Agropyron repens*) besitzt (Tab. 1). Unter den Wirkungsstärken hervorzuheben ist die gute Bekämpfbarkeit von Storchschnabel-Arten (*Geranium* spp.), durch die sich die Einzelwirkstoffe Nicosulfuron und Mesotrione in analogen Aufwandmengen nicht auszeichnen.

Eine unsichere Wirkung von ELUMIS ist auf *Polygonum convolvulus* und *P. aviculare* festzustellen, in Tabelle 1 ersichtlich an der starken Streuung oder den Mittelwerten der Ergebnisse. Eine Wirkungsschwäche stellt die ausdauernde dikotyle Art *Cirsium arvense* dar.

Die Kulturverträglichkeit der einfachen und der doppelten zur Zulassung beantragten Aufwandmenge von ELUMIS in unkrautfreien Feldversuchen erwies sich als sehr gut (Tab. 2). Auch nach Behandlung mit der doppelten Aufwandmenge wuchsen sich leichte, anfängliche Schäden und Aufhellungen rasch wieder aus. Der Vergleich mit gleichen Wirkstoffmengen der Komponente Nicosulfuron im Präparat MILAGRO FORTE 6 OD ergab keine Unterschiede in der Maisverträglichkeit der geprüften neuen Sorten, die - anders als eine ältere Referenzsorte - allesamt als Nicosulfuronverträglich eingestuft wurden.

Neben den Wirksamkeits- und den unkrautfreien Verträglichkeitsversuchen wurde die Maisverträglichkeit von ELUMIS auch in umfangreichen Sortenversuchen an Standorten in Deutschland und Großbritannien vergleichend geprüft (nicht dargestellt). In 24 Wirksamkeitsversuchen der Jahre 2007-2009 führten 1,5 l/ha ELUMIS zu einer durchschnittlichen allgemeinen Anfangsphytotoxizität von nur 1,48 %. Nur 5 von 24 Versuchen zeigten überhaupt Phytotoxizität, mit einem einzelnen anfänglichen Maximalwert von 17 %, der bei einer späteren Bonitur auf 1,2 % absank. In vergleichenden Sortenprüfungen der Saison 2009 erwies sich von 134 in Deutschland geprüften neuen Maishybriden keine gegenüber der doppelten Aufwandmenge 3,0 l/ha ELUMIS als unverträglich.

Tab. 1 Bekämpfungserfolge von 1,5 l/ha ELUMIS im Nachauflauf in Mais (Median, Mittelwerte und Streuung über die Versuchsjahre 2007-2010, % visuelle Reduktion Biomasse; Auswertung 21-57 Tage nach Applikation).

Tab. 1 Post-emergent weed control and crop tolerance of 1.5 l/ha ELUMIS (median, average values and variation 2007-2010, % visual biomass reduction; evaluation 21-57 days after application).

	Anzahl Ergebnisse	ELUMIS 1,5 l/ha			
		Median	Mittelwert	Minimum	Maximum
<i>Agropyron, syn. Elytrigia, repens</i>	5	82,5	86,8	78,3	98,5
<i>Alopecurus myosuroides</i>	2	98,5	98,5	97	100
<i>Avena sativa</i>	1	100	100		
<i>Echinochloa crus-galli</i>	22	98,3	95,2	78,3	100
<i>Lolium perenne</i>	1	99	99		
<i>Panicum miliaceum</i>	1	99	99		
<i>Poa annua</i>	3	98,3	97,8	95	100
<i>Setaria spp./Pennisetum glaucum</i>	4	99,3	99,1	97,7	100
<i>Amaranthus retroflexus</i>	10	100	99,0	93,3	100
<i>Atriplex patula</i>	1	99,5	99,5		
<i>Brassica napus</i>	3	98,7	99,1	98,7	100
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	3	100	100	100	100
<i>Chenopodium album</i>	31	100	99,2	91,7	100
<i>Chenopodium ficifolium</i>	1	100	100		
<i>Chenopodium hybridum</i>	1	100	100		
<i>Chenopodium polyspermum</i>	3	100	99,9	99,7	100
<i>Cirsium arvense</i>	1	62,5	62,5		
<i>Datura stramonium</i>	1	100	100		
<i>Fumaria officinalis</i>	2	99,3	99,3	98,8	99,8
<i>Galeopsis tetrahit</i>	2	92,8	92,8	85,5	100
<i>Galinsoga spp.</i>	4	100	99,6	98,3	100
<i>Galium aparine</i>	6	98,5	97,5	93,8	100
<i>Geranium spp.</i>	2	95,3	95,3	95	95,5
<i>Lamium spp.</i>	8	100	99,4	97,5	100
<i>Matricaria chamomilla</i>	4	93,9	90,7	75	100
<i>Matricaria matricarioides, M. inodora</i>	3	98,2	97,1	93	100
<i>Matricaria maritima</i>	5	100	97,6	88,8	100
<i>Mercurialis annua</i>	1	86	86		
<i>Plantago major</i>	1	98,7	98,7		
<i>Polygonum aviculare</i>	5	96,7	74,3	26,7	99
<i>Polygonum convolvulus</i>	11	94,3	86,1	46,7	100
<i>Polygonum lapathifolium</i>	5	99,5	96	82,5	100
<i>Polygonum persicaria</i>	5	98,0	97,1	90	100
<i>Silene alba ssp.</i>	2	80,6	80,6	61,3	100
<i>Sinapis arvensis</i>	1	99	99		
<i>Solanum nigrum</i>	7	99,7	99,5	99	100
<i>Sonchus arvensis</i>	1	100	100		
<i>Stellaria media</i>	6	98,4	95,2	78,3	100
<i>Thlaspi arvense</i>	3	100	100	100	100
<i>Urtica urens</i>	2	95,5	95,5	92	99
<i>Veronica persica, V. arvensis</i>	5	98,7	92,8	67,8	100
<i>Viola spp.</i>	7	94,0	93,5	84,3	100

Tab. 2 Kulturverträglichkeit der einfachen und doppelten Aufwandmenge von ELUMIS und Vergleichsmitteln im Nachauflauf in Mais unter unkrautfreien Bedingungen (Medianwerte und Streuung über die Versuchsjahre 2009-2010, % visuelle Phytotoxizität/Reduktion Biomasse, Auswertung 8-19 Tage nach Applikation).

Tab. 2 *Post-emergent crop tolerance of target and double rate of ELUMIS and comparative standards in maize under weed-free conditions (mean values and variation 2009-2010, % visual phytotoxicity/biomass reduction, evaluation 8-19 days after application).*

Herbizidbehandlung	Anzahl Ergebnisse	Allgemeine Phytotoxizität			Anzahl Versuche mit Phytotoxizität > 0
		Mittelwert	Minimum	Maximum	
ELUMIS 1,5 l/ha	10	0,20	0	2,0	1/10
ELUMIS 3,0 l/ha	10	0,80	0	5,0	2/10
CALLISTO 100 SC 1,5 l/ha	10	0	0	0	-
CALLISTO 100 SC 3,0 l/ha	10	1,35	0	10,0	2/10
MILAGRO FORTE 6 OD 0,75 l/ha	10	0	0	0	-
MILAGRO FORTE 6 OD 1,5 l/ha	10	0,63	0	5,0	2/10

Die Ertragsermittlung mit Beerntung der Ganzpflanze (Silomais) oder der Körner unter unkrautfreien Bedingungen nach Anwendung der einfachen und der doppelten Aufwandmenge bestätigte die visuell bonitierte gute Maisverträglichkeit (Tab. 3).

Tab. 3 Maiserträge nach Anwendung von ELUMIS mit einfacher und doppelter Aufwandmenge unter unkrautfreien Bedingungen (Mittelwerte; Versuchsjahre 2007-2010).

Tab. 3 *Maize yields after application of ELUMIS at single and double target rate under weed-free conditions (average values; seasons 2007-2010).*

	n	Kontrolle, unkrautfrei	ELUMIS 1.5 l/ha	ELUMIS 3.0 l/ha	CALLISTO 100 SC 1.5 l/ha	CALLISTO 100 SC 3.0 l/ha	MILAGRO FORTE 6 OD 0.75 l/ha	MILAGRO FORTE 6 OD 1.5 l/ha
Silomais [Frischmasse t/ha]	6	545,0a	561,8a	556,4a	545,2a	549,6a	536,5a	540,7a
Körnermais [Trockenmasse dt/ha]	4	144,8b	146,8b	142,4b	145,0b	141,7b	142,3b	144,1b

n: Anzahl Ergebnisse; a, b: keine statistisch gesicherten Ertragsdifferenzen ($\alpha = 0.05$)

ELUMIS ist weitestgehend blattaktiv; es kann bei Bedarf mit weiteren Blatt- oder Residualwirkstoffen kombiniert werden, um damit das Wirkungsspektrum zu vervollständigen oder Dauerwirkung auf nach der Anwendung keimende Pflanzen zu erreichen. Entsprechende Tankmischungen wurden in Deutschland und Österreich in den Jahren 2009 bis 2011 geprüft. Die Tankmischung aus ELUMIS und GARDO[®] GOLD erhöht mittels der Terbutylazin-Zumischung nicht nur die Wirkungssicherheit und Dauerwirkung gegen viele Unkräuter, sondern erfasst mit dem Residualwirkstoff S-Metolachlor auch nach der Applikation auflaufende Hirsewellen (Tab. 3). Dabei besteht auch die Möglichkeit, die Aufwandmengen der Mischpartner etwas zu reduzieren. Eine Tankmischung aus ELUMIS und Prosulfuron (in PEAK[®]) erhöht die Wirkungssicherheit insbesondere gegen schwierig zu bekämpfende Knöterich-Arten (*Polygonum convolvulus*, *P. aviculare*). Auch die beachtliche Nebenwirkung der Mischung auf Zaun-Winde (*Calystegia sepium*), die in einzelnen Versuchen beobachtet wurde, lässt sich auf den Zusatz von Prosulfuron zurückführen. Nach Bedarf kann mittels weiterer Zumischung des Residualwirkstoffs S-Metolachlor (in DUAL[®] GOLD) die Dauerwirkung auf alle nach der Applikation keimenden Hirsen ausgedehnt werden (Tab. 4).

Tab. 4 Bekämpfungserfolge gegen ausgewählte Arten mit Kombinationen aus ELUMIS und residualen Mischpartnern im Nachauflauf in Mais (Medianwerte; ELUMIS über die Versuchsjahre 2007-2010, Tankmischungen 2009-2010; % visuelle Reduktion Biomasse; Auswertung 21-57 Tage nach Applikation).

Tab. 4 Post-emergent control of by tank-mixtures of ELUMIS and residual partners (median values; ELUMIS 2007-2010, tankmixtures 2009-2010; % visual biomass reduction, 21-57 days after application).

	ELUMIS 1,5 l/ha		ELUMIS 1,0 l/ha + GARDO GOLD 3,0 l/ha		ELUMIS 1,5 l/ha + GARDO GOLD 4,0 l/ha		ELUMIS 1,5 l/ha + DUAL GOLD 1,25 l/ha + PEAK 0,02 kg/ha	
		n		n		n		n
<i>Amaranthus retroflexus</i>	100	10	100	3	100	3	100	3
<i>Avena fatua</i>	100	1	93,3	1	100	1	100	1
<i>Calystegia sepium</i>	-	-	45,0	1	68,3	1	83,3	1
<i>Chenopodium album</i>	100	31	100	10	100	10	100	10
<i>Echinochloa crus-galli</i>	98,3	22	97,7	7	100	7	100	7
<i>Galium aparine</i>	98,5	6	100	1	100	1	100	1
<i>Polygonum convolvulus</i>	94,3	11	96,7	2	99,3	2	99,5	2
<i>Setaria spp./</i>								
<i>Pennisetum glaucum</i>	99,3	4	93,3	3	99,0	3	100	2
<i>Solanum nigrum</i>	99,7	7	100	1	100	1	100	1
<i>Stellaria media</i>	98,4	6	99,5	2	99,2	2	100	3
<i>Viola arvensis</i>	94,0	7	99,0	1	99,0	1	99,0	1

n: Anzahl Ergebnisse

3.2 Aufnahmekinetik

Da es sich bei ELUMIS um die erste Co-Formulierung eines Triketons und eines Sulfonylharnstoffs handelt, erhob sich die Frage nach einem Einfluss des Formulierungstyps und der inerten Beistoffe in den Formulierungen auf die Wirkstoffaufnahme. Die Intensität der Wirkstoffaufnahme während der ersten 72 Stunden nach Applikation wurde anhand von mit radioaktivem ¹⁴C-markierten Wirkstoffen untersucht. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede während der ersten Stunden nach Applikation (Tab. 5a, 5b).

Die Aufnahme von Mesotrione und Nicosulfuron aus ELUMIS ging deutlich rascher vonstatten als diejenige aus CALLISTO 100 SC und MILAGRO 4 SC. Während des Untersuchungszeitraums blieben sowohl die Mesotrione-Aufnahme aus CALLISTO 100 SC in *Chenopodium album* als auch die Nicosulfuron-Aufnahme in *Setaria viridis* aus MILAGRO 4 SC hinter derjenigen aus ELUMIS und einer Tankmischung beider Einzelkomponenten deutlich zurück. Die Autoradiographien (nicht dargestellt) zeigten, dass die innerpflanzliche Translokation der Wirkstoffe nach der Aufnahme nicht durch die Formulierung beeinflusst wird.

3.3 Nachbau

In Frankreich 2008-2009 und Österreich 2010-2011 durchgeführte Studien zum Einfluss der ELUMIS-Anwendung in Mais auf ackerbauliche Folgekulturen ergaben keinerlei Schädigung, sowohl nach flacher als auch tiefer Bodenbearbeitung (nicht dargestellt). Weder die geprüften Sommerkulturen Sonnenblume, Sorghum, Deutsches Weidelgras, Erbse, Ackerbohne, Sojabohne und Ölkürbis noch die im Anwendungsjahr von ELUMIS nachgebauten Winterkulturen Winterweizen, Wintergerste und Winterraps wurden auf den Versuchsstandorten geschädigt. Da für die Wirkstoffe Mesotrione und Nicosulfuron im Einzelfall unter ungünstigen Boden- und Witterungsbedingungen ein Schadpotenzial auf empfindliche Folgekulturen bekannt ist, empfiehlt es sich bis auf weiteres, aus Vorsichtsgründen die von den Einzelwirkstoffen bekannten Nachbaurisiken auch für ELUMIS zu berücksichtigen. Auf Böden mit einem pH-Wert über 6 und einer Ackerzahl über 30 besteht bei der in

Mitteleuropa vorherrschenden Jahreswitterung kein nennenswertes Schadpotenzial für auf Mesotrone empfindlich reagierende Hauptkulturen. Eine tief wendende Bodenbearbeitung nach Mais verringert dieses Schadpotenzial darüber hinaus.

Tab. 5a Aufnahme von ¹⁴C-Mesotrone aus verschiedenen Formulierungen und einer Tankmischung in eine empfindliche und eine weniger empfindliche Art der Zielflora (Mittelwerte aus vier Wiederholungen).

Tab. 5a Uptake of ¹⁴C mesotrione from various formulations and a tank mixture in a sensitive and a less sensitive target species (means from four replicates).

Test-Art	Stunden nach Applikation	Aufnahme von ¹⁴ C Mesotrone		
		ELUMIS [% der appl. Menge]	CALLISTO 100 SC [% der appl. Menge]	CALLISTO 100 SC + MILAGRO 4 SC [% der appl. Menge]
<i>Setaria viridis</i>	0,25	11	11	9
	3	50	20	26
	6	52	29	34
	24	61	45	49
	72	58	45	68
<i>Chenopodium album</i>	0,25	38	19	7
	3	92	39	57
	6	92	46	73
	24	86	70	86
	72	93	73	94

Tab. 5b Aufnahme von ¹⁴C-Nicosulfuron aus verschiedenen Formulierungen und einer Tankmischung in eine empfindliche und eine weniger empfindliche Art der Zielflora (Mittelwerte aus vier Wiederholungen).

Tab. 5b Uptake of ¹⁴C nicosulfuron from various formulations and a tank mixture in a sensitive and a less sensitive target species (means from four replicates).

Test-Art	Stunden nach Applikation	Aufnahme von ¹⁴ C Nicosulfuron		
		ELUMIS [% der appl. Menge]	MILAGRO 4 SC [% der appl. Menge]	CALLISTO 100 SC + MILAGRO 4 SC [% der appl. Menge]
<i>Setaria viridis</i>	0,25	18	10	9
	3	41	22	18
	6	42	24	22
	24	43	38	21
	72	51	40	43
<i>Chenopodium album</i>	0,25	25	15	6
	3	55	35	32
	6	51	51	40
	24	51	47	48
	72	55	57	54

4. Diskussion

Mit der zur Zulassung beantragten Aufwandmenge von 1,5 l/ha erfasst ELUMIS im Nachauflauf des Mais und der Zielflora alle in mitteleuropäischem Mais bedeutsamen Ungräser einschließlich der ausdauernden Gemeinen Quecke und Deutschem Weidelgras sowie ein überdurchschnittlich breites Spektrum einjähriger zweikeimblättriger Unkräuter. Die anwenderfreundlich formulierte Öldispersion ermöglicht eine raschere Wirkstoffaufnahme in empfindliche Zielunkräuter als die bisher erhältlichen Formulierungen der Einzelwirkstoffe Mesotrone und Nicosulfuron. Der Ölgehalt der Formulierung erlaubt insbesondere den Verzicht auf einen weiteren Additivzusatz, wenn ELUMIS in Tankmischungen

mit weiteren fest formulierten Sulfonylharnstoffpräparaten, wie z. B. PEAK (Prosulfuron) kombiniert wird.

ELUMIS wird von der weit überwiegenden Mehrzahl der angebauten marktgängigen Maishybriden sehr gut vertragen. Zu dieser guten Maisverträglichkeit trägt auch bei, dass heutige Maishybriden mehrheitlich sulfonylharnstofftolerant sind. Darüber hinaus führt ein Europäisches Patent (DE GENNARO und SMITH, 1997) die *Safening*-Eigenschaft einer Mischung aus Mesotrione und maisselktiven Sulfonylharnstoffen auf. Demnach werden durch hohe Aufwandmengen an Mesotrione verursachte Chlorosen auf empfindlichen jungen Maispflanzen bei unveränderter herbizider Wirksamkeit durch Zumischung von Sulfonylharnstoffen deutlich verringert. Das in diesem Patent detailliert belegte *Safening* von Mesotrione durch Kombination mit Nicosulfuron steht in Einklang mit der in den Feldversuchen beobachteten guten Maisverträglichkeit von ELUMIS.

Zur sicheren und ausreichenden Bekämpfung schwierig bekämpfbarer dikotyler Arten (z. B. *Polygonum convolvulus* und *P. aviculare*, insbesondere in fortgeschrittenen Entwicklungsstadien) wurden mit dem Zusatz von Mischpartnern wie Prosulfuron oder Terbuthylazin sehr gute Erfolge erzielt. Eine Tankmischung aus ELUMIS und Prosulfuron (in PEAK®) erhöht die Wirkungssicherheit insbesondere gegen schwierig zu bekämpfende Knöterich-Arten (*P. convolvulus*, *P. aviculare*). Daneben findet sich die aus kommerziellem Einsatz von PEAK bekannte herbizide Aktivität von Prosulfuron auf Winde-Arten auch in einzelnen Ergebnissen der Tankmischung aus ELUMIS und Prosulfuron wieder. Die ölhaltige Formulierung von ELUMIS bietet in dieser Kombination den Vorzug, dass sich der Zusatz eines Additivs zur Verbesserung der Wirkungssicherheit von PEAK erübrigt, da es wie alle sulfonylharnstoffhaltigen Granulatformulierungen auf den Zusatz von Netzmitteln oder Ölen mit einer deutlichen Steigerung der Wirkungssicherheit reagiert.

Die weitgehende Blattwirksamkeit von ELUMIS lässt sich darüber hinaus gezielt durch die Zumischung von residual wirksamen Partnern wie Terbuthylazin und/oder S-Metolachlor ergänzen. Damit lässt sich in Mais auch die Konkurrenz durch weitere nach Applikation auflaufende Hirse- und Unkrautwellen mit einer einmaligen Behandlung ausschalten.

Die in mehrjährigen Versuchsreihen geprüften unterschiedlichen Aufwandmengenverhältnisse von ELUMIS und geeigneten Tankmischpartnern ergaben eine große Flexibilität der Aufwandmengen bei vergleichbaren Bekämpfungserfolgen. Für eine praxisrelevante Unkrautbekämpfung in Mais erwiesen sich Tankmischungen aus ELUMIS und GARDO GOLD mit Aufwandmengen von 1,0-1,25 l/ha ELUMIS und 3,0-3,75 l/ha GARDO GOLD als besonders zweckmäßig. Auf Standorten, auf denen keine Dauerwirkung gegen Unkräuter benötigt wird, erfassen Mischungen aus 1,5 l/ha ELUMIS und 0,02 kg/ha PEAK auch im fortgeschrittenen Nachauflauf alle in Mais bedeutsamen Unkräuter und Ungräser einschließlich einiger ausdauernder Arten in nur einem Arbeitsgang. Aufgrund des Wirkungsspektrums von S-Metolachlor, das neben annuellen Hirsen auch Storch- und Reiherschnabel-Arten einschließt, eignet sich neben GARDO GOLD auch DUAL GOLD zur Zumischung zu einer Tankmischung aus ELUMIS und PEAK, um eine zusätzliche Residualwirkung auf nach der Anwendung auflaufende oder bei Anwendung im Keimblattstadium befindliche Schadhirse-, Storch- und Reiherschnabel-Pflanzen zu erzielen.

Einen Anwendervorteil von ELUMIS gegenüber Tankmischungen der Einzelwirkstoffe bieten die hohen Bekämpfungserfolge gegen Storchschnabel-Arten (*Geranium* spp.), die sich in Mais im Nachauflauf nur schwierig bekämpfen lassen. Mit Tankmischungen aus ELUMIS und dem Terbuthylazin- und S-Metolachlor-Mischpräparat GARDO GOLD wurden in der Saison 2011 auch gute Bekämpfungsergebnisse auf Gemeinen Reiherschnabel (*Erodium cicutarium*) erzielt. Kommerzielle Erfahrungen der Jahre 2009 und 2010 aus Polen ergaben, dass bei Anwendung von ELUMIS bis zur Ausbildung des zweiten Laubblatt-Stadiums von Storch- und Reiherschnabel-Pflanzen eine höhere Wirkungssicherheit erzielt wird als in weiter fortgeschrittenen Wachstumsstadien. Damit zeichnet sich ELUMIS als eine der wenigen im Mais zur Verfügung stehenden Möglichkeiten aus, diese sich zunehmend ausbreitenden Arten kulturselektiv im Nachauflauf chemisch zu bekämpfen.

Literatur

DE GENNARO, F.P. AND W.F. SMITH, 1997: HERBICIDAL MIXTURES, PATENT EP 0 915 652 B1, WO97/48276, 1997.

Spectrum® Plus und Spectrum® Gold - zwei neue Bausteine für die Unkrautbekämpfung in Mais

Spectrum® Plus and Spectrum® Gold - two new products for weed control in maize

Alfons Schönhammer* & Joachim Freitag

BASF SE, E-APE/DT - LI556, D-67117 Limburgerhof

*Korrespondierender Autor, alfons.schoenhammer@basf.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.061

Zusammenfassung

Mit Spectrum® Plus und Spectrum® Gold stehen in Kürze zwei neue Maisherbizide zur Verfügung, die aufgrund ihres breiten Wirkungsspektrums gegen Schadhirsens, Einjähriges Rispengras und zweikeimblättrige Samenunkräuter sowohl für die alleinige Anwendung im Vor- und frühen Nachauflauf geeignet sind, als auch als überwiegend bodenwirksame Komponenten von Spritzfolgen oder Tankmischungen eingesetzt werden können.

Spectrum® Plus besteht aus Dimethenamid-P und Pendimethalin und weist mit zwei hirse-wirksamen Komponenten und einer höheren Stabilität im Boden eine besonders lang anhaltende Wirkung gegen spät keimende Hirsen und dikotyle Arten auf. Das Produkt kann auch auf Standorten mit Triazinresistenz eingesetzt werden oder im Rahmen des Resistenzmanagements die Selektion resistenter Biotypen verhindern. Spectrum® Plus ist sehr gut als Bodenkomponente für Spritzfolgen oder Tankmischung mit überwiegend blattaktiven Partnern geeignet.

Spectrum® Gold besteht aus Dimethenamid-P und Terbutylazin und ist wegen der höheren Blattaktivität gegen zweikeimblättrige Samenunkräuter im Nachauflauf bei mäßiger Verunkrautung auch ohne Partner einsetzbar. Darüber hinaus ist es ebenfalls sehr gut für Spritzfolgen und Tankmischungen verwendbar, um die Wirkung von blattaktiven Herbiziden abzurufen. In Kombination mit 4-HPPD-Hemmern wie Topramezone treten synergistische Wirkungssteigerungen auf.

Beide Produkte weisen sowohl bei alleiniger Anwendung als auch in Kombination mit anderen Herbiziden eine sehr gute Verträglichkeit für Mais auf.

Stichwörter: Dimethenamid-P, Herbizid, Nachauflauf, Voraufbau, Wirksamkeit

Summary

With the introduction of Spectrum® Plus and Spectrum® Gold two new broad spectrum herbicides for pre- and post-emergence application in maize will be available. Their weed spectrum covers warm season grasses, annual meadowgrass and most annual broadleaved weeds. They can be used either alone or in sequence or tankmix with predominantly foliar herbicides.

Spectrum® Plus is a premix of dimethenamid-P and pendimethalin. It is especially effective against late germinating warm season grasses and broadleaved species due to its long lasting soil activity. It is also suitable for controlling and avoiding the development of triazine-resistant biotypes. In sequences and tankmixes with herbicides with foliar activity, Spectrum® Plus provides valuable residual activity.

Spectrum® Gold contains dimethenamid-P and terbutylazine. In addition to its residual activity it is also active against larger broadleaved weeds through foliar uptake. It is also an ideal partner for tankmixes with 4-HPPD-inhibitors like topamezone due to synergistic effects.

Both products have been proven to show very good crop tolerance in pre- and post-emergence either alone or in combination with other herbicides.

Keywords: Dimethenamid-P, herbicide, herbicide efficacy, post-emergence, pre-emergence

1. Einleitung

Die in den vergangenen Jahren starke Ausweitung der Anbauflächen von Mais hat zu einer verstärkten Differenzierung der Verunkrautung geführt: Erstens erhöhte sich der Anteil von Mais in der Fruchtfolge in Betrieben mit knapper Flächenausstattung. Auf immer mehr Flächen wird Mais

nach der Vorfrucht Mais angebaut. In dieser Situation kommt es sehr schnell zu einer Zunahme des Samenvorrats von Unkräutern im Boden, wenn diese von den vorwiegend eingesetzten Maisherbiziden nur unvollständig bekämpft werden. Zweitens finden sich in Betrieben, die neu in den Anbau von Mais eingestiegen sind und vorher überwiegend winterungsbetonte Fruchtfolgen hatten, zunächst kaum typische spätkeimende Maisunkräuter, sondern verstärkt winterjährige Unkrautarten. Nicht immer wird die Herbizidwahl dieser Situation gerecht.

Um mit den zunehmend vielschichtiger werdenden Anforderungen an unterschiedliche Unkrautgesellschaften und unterschiedliche Besatzstärken Schritt halten zu können, werden immer häufiger Maisherbizide miteinander kombiniert und in Herbizidpacks angeboten. Insbesondere dann, wenn bei starker Verunkrautung das Ziel besteht, mit einer Überfahrt die Unkrautkonkurrenz zu beseitigen und die Zunahme des Samenvorrats im Boden zu verhindern, müssen oft mehrere Herbizide gemeinsam ausgebracht werden. Leistungsfähige Kombinationen für den Einsatz im Nachauflauf müssen in der Regel gegen einjährige einkeimblättrige, einjährige zweikeimblättrige, mehrjährige einkeimblättrige und mehrjährige zweikeimblättrige Unkräuter über eine Blattwirkung auch gegen größere Unkrautstadien verfügen und zusätzlich eine Bodenwirkung gegen spät keimende einjährige, einkeimblättrige und einjährige, zweikeimblättrige Unkräuter aufweisen, da diese insbesondere auf leicht erwärmbaren Böden oft in Wellen auflaufen. Da die Bekämpfung der an kühlere Temperaturen angepassten früh auflaufenden Arten häufig nicht so lange verzögert werden kann, bis die letzte Welle von Spätkeimern aufgelaufen ist, sind bei stärkerem Unkrautvorkommen entweder zwei Spritzungen nötig oder Bodenherbizide, die über mehrere Wochen wirksam bleiben, werden den blattwirksamen Wirkstoffen zugesetzt.

Seit 2001 hat sich der Wirkstoff Dimethenamid-P zur Verhinderung des Auftretens spätkeimender Pflanzen von *Echinochloa crus-galli*, *Setaria*-Arten, *Digitaria*-Arten sowie weiterer Hirsen wie auch von *Solanum nigrum*, *Amarant*-Arten, *Galinsoga*-Arten sowie zahlreicher weiterer dikotyler Unkräuter bewährt. Überwiegend wird Dimethenamid-P als Soloprodukt unter dem Handelsnamen Spectrum[®], aber auch in Fertigformulierung mit Topramezone im Fertigprodukt Clio[®] Star im Mais eingesetzt. Die gute Mais-Verträglichkeit vom Voraufbau bis zum 6-Blatt-Stadium der Kultur, das breite Wirkungsspektrum, die geringen Ansprüche an die Bodenfeuchtigkeit und eine hinreichende Residualwirkung begründen den Erfolg dieses Wirkstoffes. Ab 2012 wird Dimethenamid-P in zwei weiteren Fertigformulierungen für die Kultur Mais verfügbar sein: Spectrum[®] Plus und Spectrum[®] Gold.

2. Material und Methoden

2.1 Beschreibung der Herbizide

Beide Produkte sind flüssig formuliert und geeignet für Kombinationen mit weiteren Herbiziden. Bei der jeweils höchsten zur Zulassung vorgesehenen Aufwandmenge wird eine Dimethenamid-P Menge von 840 bzw. 850 g/ha ausgebracht. Dies ist etwa 5 % mehr Wirkstoffmenge im Vergleich zur Fertigformulierung Clio Super bei 1,5 l/ha und entspricht etwa 1,2 l/ha Spectrum[®] solo.

Bei Spectrum[®] Gold ist neben der vollen Aufwandmenge von 3,0 l/ha auch eine reduzierte Aufwandmenge von 2,0 l/ha für ein etwas eingeschränktes Wirkungsspektrum beantragt. Bei Spectrum[®] Plus sind neben Mais auch die Kulturen Erbsen, Ackerbohnen, Lupinen, Soja und Sonnenblumen vorgesehen. Im Mais können beide Produkte sowohl im Vor- als auch im Nachauflauf eingesetzt werden.

Neben der unterschiedlichen chemischen Struktur, dem Translokationsverhalten und den verschiedenartigen Wirkmechanismen bestehen insbesondere bei den im Hinblick auf die Bodenwirkung ausgewählten Eigenschaften zwischen den beiden Partnerwirkstoffen von Dimethenamid-P erhebliche Unterschiede. Pendimethalin kann als langlebiger Wirkstoff mit einer sehr geringen Mobilität im Boden charakterisiert werden, während Terbutylazin hinsichtlich Beweglichkeit und Dauerwirkung mittlere Werte aufweist. Terbutylazin muss zur Wirkungsentfaltung in photosynthetisch aktive Gewebe verlagert oder direkt von diesen aufgenommen werden. Weitere Unterschiede bestehen im Wirkungsspektrum: Pendimethalin weist

auch gegen keimende und auflaufende annuelle monokotyle Unkräuter einschließlich Schadhirsen vergleichsweise starke Wirkungen auf, während die graminizide Leistung von Terbutylazin bei nur wenigen Arten nennenswerte Größenordnungen erreicht.

Tab. 1 Die wichtigsten Parameter der Produkte Spectrum[®] Gold und Spectrum[®] Plus.

Tab. 1 *Important parameters of the herbicides Spectrum[®] Gold and Spectrum[®] Plus.*

Handelsname	Spectrum [®] Gold		Spectrum [®] Plus	
Wirkstoffe	Dimethenamid-P	Terbutylazin	Dimethenamid-P	Pendimethalin
Formulierung	Suspoemulsion (SE)		Emulsionskonzentrat (EC)	
Wirkstoffgehalt g/l	280	250	212,5	250
Aufwandmenge l/ha	3,0 (2,0)		4,0	
Wirkstoffmenge g/ha	840 (560)	750 (500)	850	1000
Anwendungstermin	VA - ES 16		VA - ES 16	
Kulturen	Mais (VA+NA)		Mais (VA+NA), Erbsen (VA+NA), Ackerbohnen (VA), Lupinen (VA), Soja (VA), Sonnenblumen (VA)	
Wirkungsspektrum	Hühnerhirse, Borstenhirse- und Fingerhirse-Arten bis ES 12, Einjährige Rispe breites Spektrum zweikeimblättriger Samenunkräuter			
Zulassungsstand	Zulassung erwartet 1. Halbjahr 2012			

Tab. 2 Die wichtigsten Eigenschaften der Wirkstoffe der Produkte Spectrum[®] Gold und Spectrum[®] Plus.

Tab. 2 *Important properties of the active ingredients of the herbicides Spectrum[®] Gold and Spectrum[®] Plus.*

Wirkstoff	Dimethenamid-P	Pendimethalin	Terbutylazin
Chemische Klasse	Chloracetamide	Dinitroaniline	Triazine
Wirkmechanismus	Hemmung der Zellteilung, Hemmung der Synthese sehr langkettiger Fettsäuren	Hemmung der Zellteilung, Hemmung der Mikrotubuli	Hemmung der Photosynthese am Photosystem II
HRAC-Gruppe	K3	K1	C1
Translokation in Pflanzen	sehr gering	extrem gering	akropetal
Wasserlöslichkeit (mg/l), 20 °C	1450	0,33	6,6
K _{ow} (log P), 20 °C	1,89	5,2	3,4
K _{foc}	134	15744	231
DT ₅₀ Freiland (Tage)	2 - 16	27 - 186	10 - 36
Dampfdruck (mPa), 25 °C	2,5	1,94	0,12

2.2 Versuchsdurchführung und Standorte

Herbizide Wirksamkeit und Mais-Verträglichkeit von Spectrum[®] Gold und Spectrum[®] Plus wurden unabhängig voneinander jeweils gemäß EPPO-Richtlinie 1/152 (Design and analysis of efficacy evaluation trials) unter gleichzeitiger Berücksichtigung der EPPO-Richtlinie PP 1/50 (Weeds in maize) geprüft. Die Versuche wurden in Deutschland von BASF und von Dienststellen des Amtlichen Pflanzenschutzdienstes sowie von BASF in weiteren Ländern der maritimen EPPO-Zone (Österreich, Belgien, Nord-Frankreich, Großbritannien) durchgeführt. Alle Prüfstellen wiesen eine Zertifizierung nach GEP (Good Experimental Practice) auf. Spectrum[®] Gold wurde in den Jahren 1998 -2006 mit insgesamt 68 Versuchen im Voraufbau und 49 Versuchen im Nachaufbau geprüft, bei Spectrum[®] Plus

wurde die Prüfung in den Jahren 2006 und 2007 mit insgesamt 39 Versuchen im Voraufbau und 49 Versuchen im Nachaufbau durchgeführt. Außerdem wurde die Mais-Verträglichkeit zusätzlich in Versuchen mit der jeweils doppelten Aufwandmenge (6,0 l/ha Spectrum® Gold und 8,0 l/ha Spectrum® Plus) nach der EPPO-Richtlinie PP 1/135 (Phytotoxicity assessment) geprüft. Insgesamt wurden hierfür je 10 Versuche im Vor- und Nachaufbau mit Spectrum® Gold und je 15 Versuche im Vor- und Nachaufbau mit Spectrum® Plus durchgeführt. Diese Versuche wurden entsprechend den EPPO-Richtlinien als Silo- oder Körnermais beerntet. Ein Teil der Wirksamkeitsversuche wurde ebenfalls beerntet.

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse von Spectrum® Gold und Spectrum® Plus jeweils gemeinsam in einer Abbildung dargestellt. Beim Vergleich der Werte muss berücksichtigt werden, dass die Daten in den meisten Fällen nicht in Versuchsserien mit beiden Produkten generiert wurden, sondern Spectrum® Gold und Spectrum® Plus in eigenständigen Versuchen geprüft wurden. In Abhängigkeit von Standort und Jahreswitterung können deshalb unterschiedliche Wirkungsvoraussetzungen vorgelegen haben. Um derartige Zufallseffekte zu minimieren, wurden deshalb in die Auswertung nur diejenigen Unkrautarten einbezogen, die bei beiden Produkten in mindestens drei Versuchen aufgetreten waren.

3.1 Wirksamkeit von Spectrum® Gold und Spectrum® Plus im Voraufbau

Mit den maximal vorgesehenen Aufwandmengen von 3,0 l/ha Spectrum® Gold und 4,0 l/ha Spectrum® Plus erzielten beide Produkte im Voraufbau sehr gute Wirkungsgrade gegen alle geprüften Schadhirse-Arten aus den Gattungen *Echinochloa*, *Setaria* und *Digitaria* sowie gegen das Einjährige Rispengras (Abb. 1). Die Unterschiede zwischen den Produkten sind vermutlich auf die nicht gegebene Orthogonalität zurückzuführen.

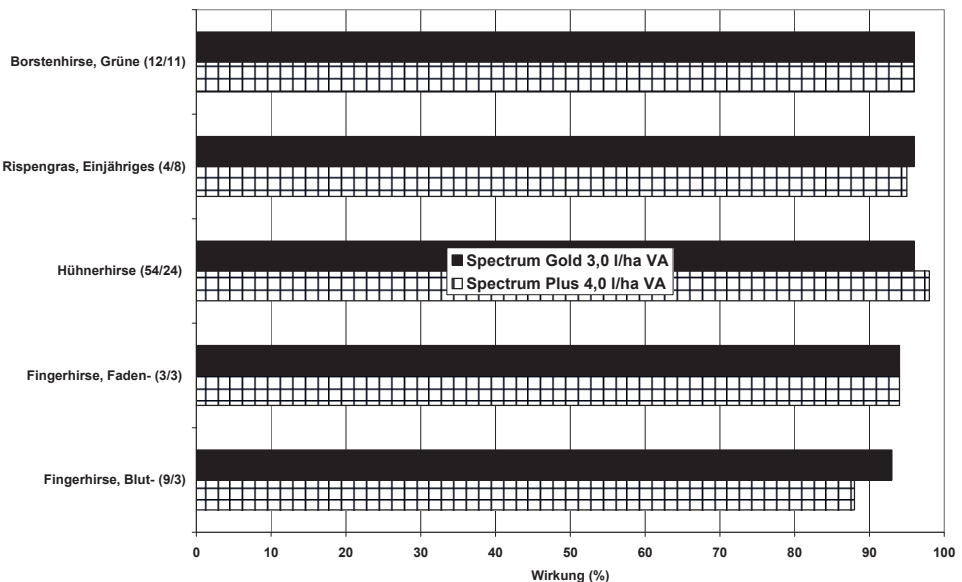


Abb. 1 Wirkungsgrad (%) von 3,0 l/ha Spectrum® Gold und 4,0 l/ha Spectrum® Plus im Voraufbau von Mais gegen einjährige monokotyle Unkräuter. (n) = Anzahl der Versuche je Unkrautart.

Fig. 1 Herbicidal efficacy (%) of Spectrum® Gold (3,0 l/ha) and Spectrum® Plus (4,0 l/ha) in preemergence of maize against annual monocotyledonous weeds. (n) = number of trials per species.

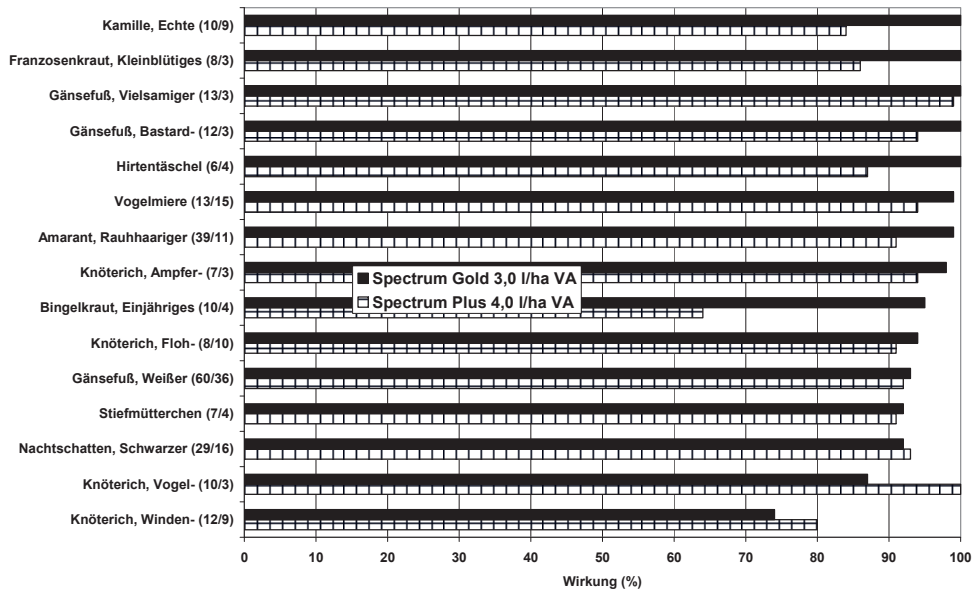


Abb. 2 Wirkungsgrad (%) von 3,0 l/ha Spectrum® Gold und 4,0 l/ha Spectrum® Plus im Voraufbau von Mais gegen einjährige dikotyle Unkräuter. (n) = Anzahl der Versuche je Unkrautart.

Fig. 2 *Herbicidal efficacy (%) of Spectrum® Gold (3,0 l/ha) and Spectrum® Plus (4,0 l/ha) in preemergence of maize against annual dicotyledonous weeds. (n) = number of trials per species.*

Bei den dikotylen Unkräutern (Abb. 2) bestanden dagegen größere Unterschiede zwischen beiden Produkten, die auf bekannte Unterschiede in der Wirksamkeit von Pendimethalin und Terbutylazin zurückgeführt werden können und in der Diskussion der Ergebnisse erörtert werden. Spectrum® Gold erwies sich vor allem bei Echter Kamille, Kleinblütigem Franzosenkraut, Hirtentäschel und Einjährigem Bingelkraut überlegen, während Spectrum® Plus Wirkungsvorteile bei Vogel- und Windenknöterich aufzuweisen hatte. Über alle dikotylen Unkrautarten betrachtet, hatte Spectrum® Gold häufiger die besseren Wirkungsgrade verglichen mit Spectrum® Plus.

3.2 Wirksamkeit von Spectrum® Gold und Spectrum® Plus im Nachaufbau

Im Nachaufbau (Abb. 3) differenzierte die Leistung der beiden Herbizide auch bei den Ungräsern: Spectrum® Gold erzielte die besseren Wirkungsgrade gegen das Einjährige Rispengras, während bei den Schadhirsen abgesehen von der Grünen Borstenhirse Spectrum® Plus das stärkere Produkt war. Im Vergleich zum Voraufbau war die Wirksamkeit gegen Schadhirsen vor allem bei Spectrum® Gold weniger stabil als im Voraufbau.

Gegen zweikeimblättrige Unkräuter (Abb. 4) war Spectrum® Gold im Nachaufbau dagegen tendenziell leistungsstärker als im Voraufbau, wenn man die schwächere Leistung gegen den Vielsamigen Gänsefuß, die auch mit dem Vorhandensein Triazin-resistenter Biotypen zusammenhängen könnte, außer Acht lässt. Auch Spectrum® Plus wies im Nachaufbau bei einer Reihe von dikotylen Unkräutern bessere Leistungen auf als im Voraufbau, wengleich die Wirkungslücken beim Einjährigem Bingelkraut und bei der Echten Kamille erhalten blieben. Gegen die wichtigen Arten wie Weißer Gänsefuß und Schwarzer Nachtschatten erzielte Spectrum® Plus im Nachaufbau bessere Wirkungsgrade als Spectrum® Gold.

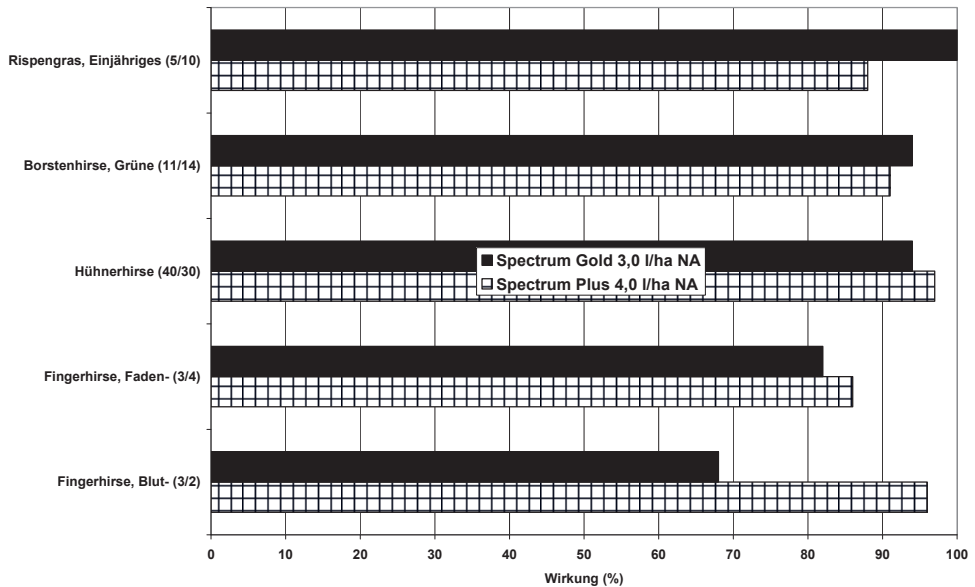


Abb. 3 Wirkungsgrad (%) von 3,0 l/ha Spectrum® Gold und 4,0 l/ha Spectrum® Plus im Nachauflauf von Mais gegen einjährige monokotyle Unkräuter. (n) = Anzahl der Versuche je Unkrautart.

Fig. 3 *Herbicidal efficacy (%) of Spectrum® Gold (3,0 l/ha) and Spectrum® Plus (4,0 l/ha) in postemergence of maize against annual monocotyledonous weeds. (n) = number of trials per species.*

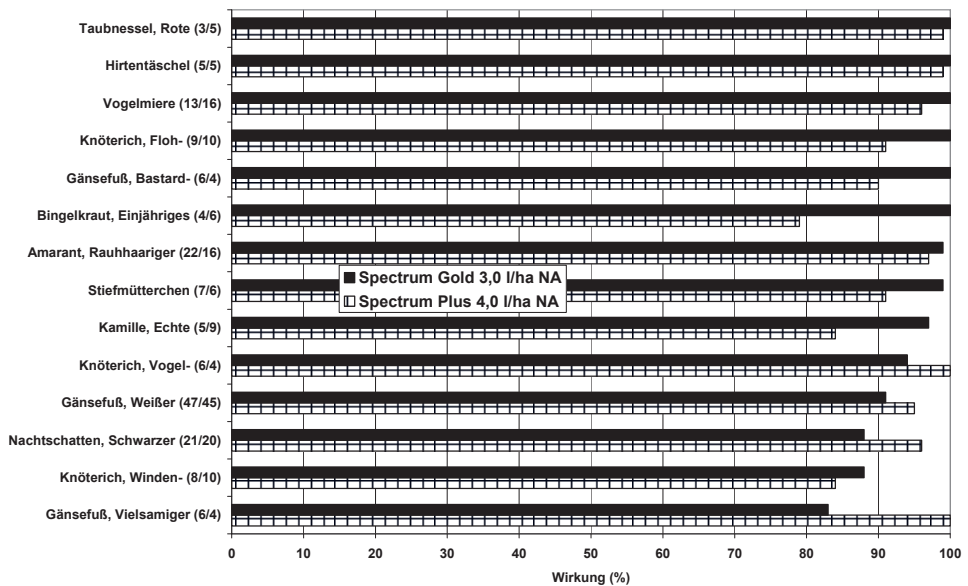


Abb. 4 Wirkungsgrad (%) von 3,0 l/ha Spectrum® Gold und 4,0 l/ha Spectrum® Plus im Nachauflauf von Mais gegen einjährige dikotyle Unkräuter. (n) = Anzahl der Versuche je Unkrautart.

Fig. 4 *Herbicidal efficacy (%) of Spectrum® Gold (3,0 l/ha) and Spectrum® Plus (4,0 l/ha) in postemergence of maize against annual dicotyledonous weeds. (n) = number of trials per species.*

3.3 Mais-Verträglichkeit von Spectrum[®] Gold und Spectrum[®] Plus

Mit den maximal vorgesehenen Aufwandmengen von Spectrum[®] Gold von 3,0 l/ha und Spectrum[®] Plus von 4,0 l/ha kam es in keinem der zahlreichen Wirksamkeits- und Selektivitätsversuchen im Vor- und Nachauflauf zu erwähnenswerten Schädigungen an der Kultur. Die Durchschnittswerte der maximalen Ausprägung von Schadsymptomen lagen stets bei 0 % oder 1 %. Negative Ertragseinflüsse traten nicht auf. Aus diesem Grund wird auf eine Darstellung der Ergebnisse verzichtet.

4. Diskussion

4.1 Anwendungstermin

Von Ausnahmen bei einzelnen Unkrautarten abgesehen, liefert Spectrum[®] Gold bei Voraufanwendung gegen Unkrauthirsen bessere Wirkungsgrade als im Nachauflauf, während bei Spectrum[®] Plus die Unterschiede zwischen Vor- und Nachauflauf weniger ausgeprägt sind. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Wirksamkeit von Dimethenamid-P und Pendimethalin gegen Ungräser im Nachauflauf maximal bis zum 2-Blatt-Stadium der Schadhirsen gegeben ist, im Mittelwert aber auch Werte späterer Anwendungen enthalten sind. Würde man diese späten, die Durchschnittswerte reduzierenden Anwendungen eliminieren und nur Anwendungen im Bereich BBCH 10-12 verwenden, lägen vor allem bei Spectrum[®] Plus die Wirkungsgrade im Nachauflauf deutlich höher als im Voraufauf. Der Grund hierfür ist der Tatsache geschuldet, dass viele Hirsepflanzen insbesondere bei anfänglich kühlen Temperaturen erst verhältnismäßig spät auflaufen. Im Voraufauf applizierte Herbizidwirkstoffe unterliegen aber bereits lange vor den stärksten Keim- und Aufaufwellen der Hirsen Abbau- und Sorptionsprozessen, die ihre Wirksamkeit zeitlich beschränken. Spectrum[®] Gold ist von (zu) frühen Anwendungen stärker betroffen als Spectrum[®] Plus, da letzteres mit Pendimethalin eine weitere graminizidwirksame Komponente mit einer langen Halbwertszeit enthält. Sollen also Spectrum[®] Gold und Spectrum[®] Plus als alleinige Herbizide ohne Nachbehandlung oder Tankmischpartner zum Einsatz kommen, ist der optimale Anwendungstermin der frühe Nachauflauf, bevor die ersten Hirsen das 2-Blatt-Stadium erreichen. Sind Tankmischungen oder Nachbehandlungen mit monokotylwirksamen Herbiziden vorgesehen, die Hirsen auch in weiter fortgeschrittenen Entwicklungsstadien bekämpfen, wie 4-HPPD-Hemmer oder ALS-Hemmer, so kann der Einsatz von Spectrum[®] Gold und Spectrum[®] Plus noch später erfolgen, um die Bodenwirkung dieser Produkte bis zum Reihenschluß von Mais zu gewährleisten.

Ähnliche Zusammenhänge gelten bei der Bekämpfung zweikeimblättriger Unkräuter und von Einjährigem Rispengras. Allerdings weist vor allem Terbuthylazin, in eingeschränktem Maße auch Pendimethalin, gegen diese Arten auch eine Blattaktivität auf, die auch erfolgreiche Soloeinsätze bis zum 4-Blatt-Stadium möglich macht.

4.2 Vorzüglichkeit von Spectrum[®] Gold oder Spectrum[®] Plus

Da sich, von wenigen Unkrautarten abgesehen, keine gravierenden Unterschiede zwischen der herbiziden Leistung beider Produkte ergeben haben, besteht in vielen Fällen Wahlfreiheit. Da der Wirkstoff Terbuthylazin in manchen Regionen Deutschlands aus Gründen des vorbeugenden Grundwasserschutzes nicht zum Einsatz kommen soll (z.B. Teile von Baden-Württemberg, Bayern und Nordrhein-Westfalen), wäre dort eindeutig Spectrum[®] Plus das Produkt der Wahl. Ähnliches gilt für Gebiete, in denen sich in der Vergangenheit durch verstärkte Anwendung von Triazinherbiziden resistente Unkrautbiotypen entwickelt haben. Dimethenamid-P kann zwar durch eine hohe Eigenleistung bei Schwarzem Nachtschatten, Amarant- und Franzosenkrautarten Leistungseinbußen von Terbuthylazin weitgehend kompensieren, bei *Chenopodium*-, *Atriplex*- und *Polygonum*-Arten gelingt dies allerdings meist nicht hinreichend. Da Pendimethalin nicht durch Triazinresistenz betroffen ist, wäre Spectrum[®] Plus auch für potenziell Resistenz-gefährdete Flächen empfehlenswert. Für den Einsatz von Spectrum[®] Gold spricht die stärkere Blattaktivität gegen zweikeimblättrige Samenunkräuter in fortgeschrittenen Entwicklungsstadien und die im Vergleich zu Pendimethalin schwächere Sorption an organische Substanz sowie die höhere Mobilität im Boden. Beide Eigenschaften spielen eine Rolle, wenn das Produkt nicht mit weiteren Herbiziden in Tankmischung

oder Spritzfolge kombiniert wird. Wenn Spectrum® Gold oder Spectrum® Plus dagegen hauptsächlich dazu eingesetzt werden, überwiegend blattaktive Produkte mit bodenwirksamen Herbiziden zu ergänzen, wäre die in Summe breitere und nachhaltigere Bodenaktivität von Spectrum® Plus im Vorteil. Bei verhältnismäßig späten Anwendungen kann dagegen der synergistische Effekt zwischen Terbuthylazin aus Spectrum® Gold und 4-HPPD-Hemmern wie Topramezone von Vorteil sein.

Hinsichtlich Kulturpflanzenverträglichkeit sowohl bei alleiniger Anwendung als auch in Mischungen mit anderen Maisherbiziden können beide Produkte als gleichwertig gut betrachtet werden.

Thiencarbazone-methyl (TCM) and Cyprosulfamide (CSA) – a new herbicide and a new safener for use in corn

Thiencarbazone-methyl (TCM) und Cyprosulfamide (CSA) – ein neues Herbizid und ein neuer Safener zur Anwendung in Mais

Hans-Joachim Santel

Bayer CropScience AG, Development - Herbicides, Alfred Nobel Strasse 50, 40789 Monheim, Germany

hans-joachim.santel@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.062

Summary

Thiencarbazone-methyl is a new herbicide for the selective control of grasses and broadleaf weeds primarily in corn. The active ingredient belongs to the chemical class of sulfonyl-amino-carbonyl-triazolinones (SACT) and acts as an inhibitor of the ALS-enzyme. The compound offers cross spectrum activity against grasses and broadleaf weeds and can be applied at the pre-emergence and the post-emergence timing. The use rate depends on the application timing and may vary from 22 – 45 g a.i./ha in pre-emergence applications and 10 – 15 g a.i./ha in post-emergence applications. Sequential treatments are possible as long as the maximum seasonal dose of 45 g a.i./ha is not exceeded. In commercial corn herbicides, TCM is always combined with safener technology such as the novel safener cyprosulfamide and with other herbicidal active ingredients. In pre-emergence applications, the primary herbicidal mixpartner is isoxaflutole. In herbicides designed for post-emergence use, TCM is co-formulated with foramsulfuron, iodosulfuron or tembotrione. The commercial herbicides composed of TCM and CSA plus sulfonylurea or triketone partners have demonstrated high weed control success in conventional and herbicide-tolerant corn production systems. Depending on the product, the potential for one pass weed control has been confirmed. Control of perennial grasses like *Sorghum halapense* and *Elymus repens* together with control of problem weeds like *Polygonum convolvulus* and suppression of *Cirsium arvense* and *Convolvulus arvensis* appear to be among the most attractive features of TCM-based herbicides under European conditions. High crop tolerance of herbicides combining two or three highly active ingredients in one commercial product is ensured by the novel safener cyprosulfamide which can protect corn via root uptake and via leaf uptake from herbicide damage.

Keywords: Herbicide, pre-emergence, post-emergence, residual activity, sulfonylaminocarbonyl-triazolinone, weed control

Zusammenfassung

Thiencarbazone-methyl ist ein neues Herbizid zur selektiven Bekämpfung von Ungräsern und dikotylen Unkräutern vor allem in Mais. Der Wirkstoff gehört zur Klasse der Sulfonylaminocarbonyltriaolinone (SACT) und wirkt als ALS-Hemmer. Der Wirkstoff besitzt ein breites Wirkungsspektrum und kann im Voraufbau oder im Nachaufbau angewandt werden. Die empfohlene Dosis hängt vom Anwendungszeitpunkt ab und liegt zwischen 22 – 45 g a.i./ha im Voraufbau und bei 10 – 15 g a.i./ha in Nachaufbau. Spritzfolgen sind möglich, solange die Maximaldosis von 45 g a.i./ha nicht überschritten wird. In kommerziellen Maisherbiziden wird TCM immer mit einem Safener, meist mit Cyprosulfamide, und weiteren herbiziden Wirkstoffen kombiniert. Für Voraufbauanwendungen ist Isoxaflutole der primäre Mischpartner. In Nachaufbauherbiziden wird TCM gemeinsam mit Foramsulfuron, Iodosulfuron oder Tembotrione formuliert. Die Herbizidkombinationen aus TCM + CSA und Sulfonylharnstoff- oder Triketonpartner haben ihren Nutzen für die Unkrautbekämpfung in konventionellen und herbizid-toleranten Maisproduktionssystemen unter Beweis gestellt. Eine einmalige Anwendung der am breitesten wirkenden Produkte kann die Unkrautbekämpfung für eine gesamte Anbausaison sichern. Besonderen Wert der TCM-haltigen Produkte hat die Wirkung gegen perennierende Gräser wie *Sorghum halapense* und *Elymus repens*, die gekoppelt ist mit der Bekämpfung des Problemunkrauts *Polygonum convolvulus* und der unterdrückenden Wirkung gegen *Cirsium arvense* und *Convolvulus arvensis* unter europäischen Bedingungen. Die sichere Verträglichkeit der Kombiherbizide, die zwei oder drei herbizide Wirkstoffe enthalten, wird durch den neuen Safener Cyprosulfamide gewährleistet, der den Mais nach der Aufnahme durch Wurzeln und Blätter vor Herbizidschäden schützt.

Stichwörter: Dauerwirkung, Herbizid, Nachaufbau, Sulfonylaminocarbonyltriaolinone, Unkrautbekämpfung, Voraufbau

1. Introduction

Chemical weed control in maize with selective herbicides has long been dominated by triazines for broadleaf weed control and amides for grass control. Later, important additions to the herbicide portfolio available to the corn producer included, among others, triketones and sulfonylureas. The sulfonylureas opened the opportunity to consistently control emerged annual and perennial grasses and various broadleaf species in the established crop but were lacking soil residual activity. Sulfonyl-amino-carbonyl-triazolinones (SACT) offer immediate and residual cross spectrum control of grasses and broadleaves and are active against a large variety of emerging and established mono- and dicotyledonous weeds (MUELLER et al., 2011).

All three commercial herbicides belonging to the chemical class of sulfonyl-amino-carbonyl-triazolinones act as inhibitors of the aceto-lactate-synthase (ALS) enzyme. The first generation of the SACTs is represented by the wheat herbicides propoxycarbazone-sodium (ATTRIBUT[®], OLYMPUS[®]; FEUCHT et al., 1999) and flucarbazone-sodium (EVEREST[®]; SANTEL et al., 1999). Both active ingredients selectively control grasses and broadleaf weeds after postemergence application. The second generation SACT herbicide thien carbazole-methyl offers a more diverse utility for weed control. It can be used pre-emergent and post-emergent, and in combination with proper safener technology it can be applied to wheat and corn. Thien carbazole-methyl (TCM) obtained its first registration 2008 in Romania and is now being registered in important corn producing countries of Europe and other parts of the world. In corn herbicides, TCM is safened by the recently developed safener cyprosulfamide. Trade names of various mixtures containing TCM and CSA together with other corn herbicides include Adengo[®], Corvus[®], Capreno[®] and Maister power[®] for selective use in maize.

2. Materials and methods

Replicated small plot field trials were laid out in randomized block design with three replications per treatment. They were conducted in commercial maize fields with natural weed infestations in most of the important corn growing areas of Europe and North America. Formulated herbicides were applied with a knapsack sprayer in 200 l/ha water. Weed control and crop tolerance were rated as % effect on a 1 - 100 scale by visual assessments in comparison with untreated control plots.

Formulated commercial products were used in the field experiments and included Merlin[®] 480 SC (isoxaflutole), Adengo[®] 465 SC (isoxaflutole + TCM + CSA), Maister[®] 61 OD (foramsulfuron + iodosulfuron + isoxadifen) and Maister power[®] 58 OD (TCM + foramsulfuron + iodosulfuron + CSA). For applications of TCM + CSA, a suspension concentrate TCM + CSA 450 SC was used. The formulated products were diluted with water before spraying. When applications of TCM + CSA were made post-emergent between the 2 and 6 leaf stage of maize, 1 l/ha of a formulated methylated rape seed oil (Mero[®]) was added to the aqueous spray solution to ensure best uptake of the safener and the herbicidal active ingredients.

3. Results and discussion

3.1 Thien carbazole-methyl (TCM) and Cyprosulfamide (CSA) chemistry

Thien carbazole-methyl (PHILBROOK and SANTEL, 2007) marks the latest progress in SACT herbicide technology (Fig. 1). In the novel molecule two ring systems, a double substituted thienyl moiety and a methyl and methoxy substituted triazolinone system, are connected with each other by a sulfonamide bridge. In general, the SACT-molecule structure follows the principles of classical sulfonylureas. However, the "sulfonylurea bridge" that connects the two ring systems is one element shorter than in sulfonylureas. The urea bridge and the triazolinone ring share one nitrogen atom.

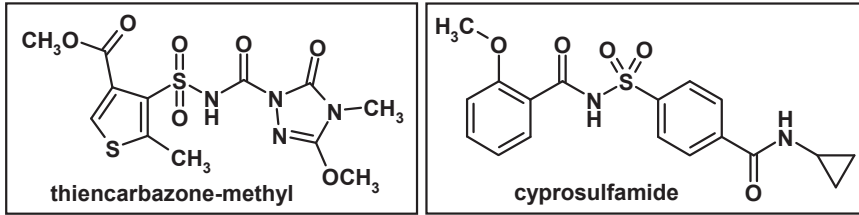


Fig. 1 Structural formulas of thien carbazole-methyl and cyprosulfamide.

Abb. 1 Strukturformel von Thien carbazole-Methyl und Cyprosulfamide.

Structural similarities between TCM and sulfonyleureas thus exist but the active ingredients also share the same molecular mode of action and act as powerful inhibitors of the acetolactate-synthase (ALS). Cyprosulfamide (Fig. 1) is a novel safener that protects corn from herbicide damage and belongs to the chemical class of aromatic sulfonamides. CSA was co-developed with TCM. The safener reliably protects corn from damage after soil application and after foliar application of TCM through induction of enhanced herbicide metabolism via gene activation. The herbicidal activity is maintained in the presence of the safener.

3.2 Application timings and use rates

Generally, TCM can be applied pre-emergent or post-emergent up to the six leaf stage of maize (Fig. 2). The registered maximum use rate for a single application is 45 g a.i./ha. This dose can be applied from the time of seeding of the crop to the full development of the second leaf of maize. After maize has reached the two leaf stage, a maximum use rate 20 g a.i./ha is registered and treatments have to be completed when the sixth leaf on maize has fully unfolded (crop stage 16). Treatments of TCM containing herbicides may be split. Commercial products based on TCM are designed accordingly, allowing single applications or sequential applications at useful doses.

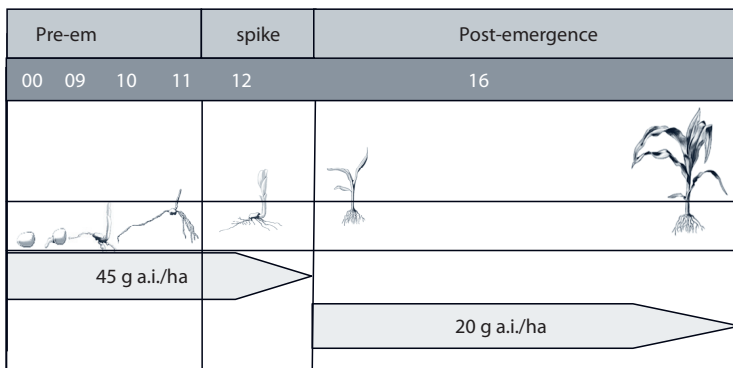


Fig. 2 Crop development stages, application timings and maximum use rates of TCM in maize.

Abb. 2 Entwicklungsstadien, Anwendungszeitpunkte und maximale Aufwandmengen von TCM.

The maximum seasonal dose of CSA is 154 g a.i./ha. It can be applied any time between seeding of the crop and development of its sixth leaf.

3.3 Weed control and crop tolerance

During the main development period (2004-2008) of TCM numerous field trials have been carried out with the objective to identify its use potential. Weed control data obtained clearly show that TCM is a cross spectrum herbicide (Tab. 1). Since it provides control of a large variety of grasses and broadleaf weeds and offers strong suppression of difficult of to control species like *Sorghum halapense* and

others. With its wide weed control spectrum TCM is an excellent new component to be added to established herbicides to form new broad spectrum commercial products for selective weed control in maize.

Tab. 1 Range of weed control of thien-carbazone-methyl at different use timings.

Tab. 1 Die Wirkungsbreite von Thien-carbazone-methyl zu unterschiedlichen Anwendungszeitpunkten.

Efficacy range	Use rate and timing of herbicide application	
	40 g TCM/ha; pre-emergence	15 g TCM/ha; post-emergence
80 – 94 % control	20 weed species	39 weed species
95 – 100 % control	47 weed species	53 weed species

The strong herbicidal activity of TCM + CSA observed when applied pre-emergent to early post-emergent allowed the creation of a new commercial product, in which the 4-HPPD inhibitor isoxaflutole and the ALS inhibitor TCM are combined together with the safener CSA in a 465 SC formulation (SANTEL and PHILBROOK, 2008). In this new product, sold under the trade names ADENGO[®] and CORVUS[®], both active ingredients complement each other and offer more complete commercial weed control compared to the individual components (Tab. 2).

Tab. 2 Efficacy of different herbicide treatments against important maize weeds after application at the pre-emergence to early post-emergence (max. 2 leaf stage of maize) stage of the crop. (n) = number of trials.

Tab. 2 Die Wirkung verschiedener Herbizidanwendungen gegen wichtige Maisunkräuter nach Anwendung im Vorauf- oder frühen Nachauf- (max. 2-Blattstadium des Mais) der Kultur. (n)=Anzahl Versuche.

Weed species	Herbicide treatments		
	Isoxaflutole 100 g a.i./ha	TCM + CSA 40 + 40 g a.i./ha	IFT + TCM + CSA 100 + 40 + 66 g a.i./ha
% Control of monocotyledonous weed species			
<i>Agropyron repens</i>	49 (36)	-	76 (32)
<i>Avena fatua</i>	68 (10)	94 (1)	98 (9)
<i>Digitaria sanguinalis</i>	84 (115)	79 (24)	90 (29)
<i>Echinochloa crus-galli</i>	83 (328)	91 (41)	92 (148)
<i>Panicum mileaceum</i>	84 (27)	91 (7)	91 (6)
<i>Pennisetum glauca</i>	83 (14)	86 (2)	91 (9)
<i>Setaria verticillata</i>	82 (36)	82 (11)	95 (7)
<i>Setaria viridis</i>	82 (111)	91 (17)	96 (36)
<i>Sorghum halapense</i>	73 (24)	73 (1)	80 (6)
% Control of dicotyledonous weed species			
<i>Abutilon theophrastii</i>	95 (69)	89 (12)	91 (10)
<i>Amaranthus retroflexus</i>	91 (210)	100 (13)	95 (80)
<i>Chenopodium album</i>	92 (491)	89 (53)	96 (223)
<i>Cirsium arvense</i>	67 (18)	-	78 (17)
<i>Equisetum arvense</i>	43 (7)	-	78 (6)
<i>Matricia inodora</i>	94 (9)	100 (3)	100 (10)
<i>Mercurialis annua</i>	54 (61)	59 (16)	91 (13)
<i>Polygonum aviculare</i>	49 (68)	85 (14)	98 (27)
<i>Polygonum convolvulus</i>	40 (167)	85 (29)	87 (105)
<i>Polygonum persicaria</i>	84 (122)	100 (12)	99 (47)
<i>Solanum nigrum</i>	96 (243)	91 (33)	98 (79)
<i>Stellaria media</i>	90 (75)	97 (8)	99 (34)
<i>Viola arvensis</i>	79 (50)	97 (4)	92 (48)
<i>Xanthium strumarium</i>	70 (14)	85 (2)	86 (10)

The crop tolerance of the commercial mixture of IFT + TCM + CSA is maintained by the safener CSA and appears favorable (Fig. 3). The overall crop reaction with an average 2.6 % response rating over 420 trials indicates very high crop safety. In comparison with isoxaflutole, the selectivity of the new herbicide mixture is improved by the safener.

The addition of TCM to any herbicide for pre-emergence or post-emergence use results in an expansion of the weed control spectrum. A particular value of the TCM addition to foramsulfuron + iodosulfuron (Maister®) to form Maister power® is the inclusion of *Polygonum convolvulus* into the spectrum of susceptible weeds (Fig. 4). Many corn herbicides miss this problem weed and therefore a mid to late post-emergence treatment with a dicamba- or bromoxynil-containing product needs to be used to control this weed species. TCM, which delivered on average 85 % control after pre-emergent application, offered even better control when used in combination with foramsulfuron and iodosulfuron in post-emergence. Sensitive development stages of *Polygonum convolvulus* then ranged from the one true leaf stage (11) to the stage of stem elongation (31) and possibly beyond (Fig. 4). Besides the expansion of the weed control spectrum, TCM, when combined with foliar herbicides, also adds residual control that extends the time during which weed control can be achieved. Against *Chenopodium album*, the period of control could be extended by 5 - 6 weeks in 2 model trials when compared to the TCM free comparison mixture (Fig. 5).

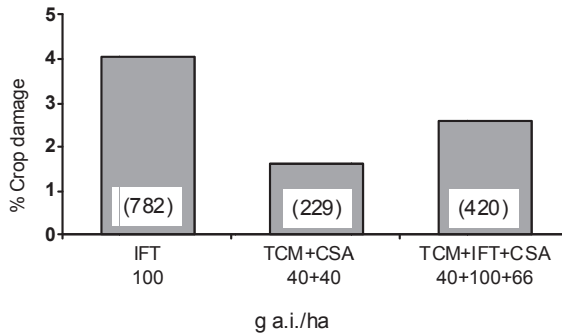


Fig. 3 Crop tolerance of different herbicide treatments after application at the pre-emergence to early post-emergence (max. 2 leaves of maize) stage of maize. (n) = no. of trials.

Abb. 3 Die Verträglichkeit verschiedener Herbizidbehandlungen für Mais nach Anwendung im Vorauflauf oder frühen Nachauflauf (max. 2 Blattstadium des Maises) der Kultur. (n) = Anzahl der Versuche.

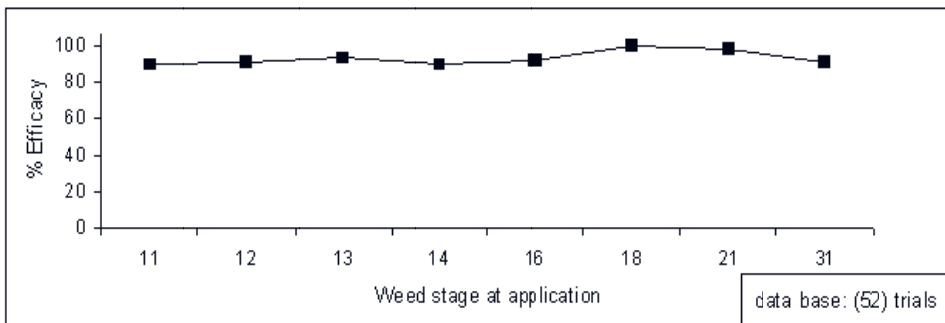


Fig. 4 Efficacy of TCM + foramsulfuron + iodosulfuron + CSA (15+45+1.5+23 g a.i./ha) against *Polygonum convolvulus* when applied at different development stages of the weed species. (n) = no. of trials.

Abb. 4 Die Wirkung von TCM + Foramsulfuron + Iodosulfuron + CSA (15+45+1.5+23 g a.i./ha) gegen *Polygonum convolvulus* nach Anwendung gegen verschiedene Entwicklungsstadien des Unkrauts. (n) = Anzahl der Versuche.

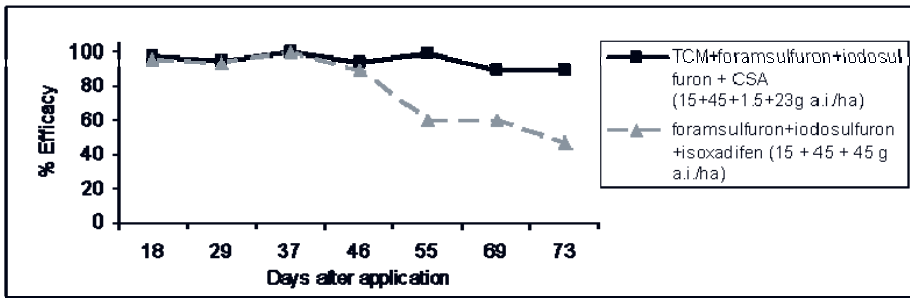


Fig. 5 Exemplary demonstration of the residual efficacy of TCM + foramsulfuron + iodosulfuron + CSA against *Chenopodium album* in comparison with foramsulfuron + iodosulfuron + isoxadifen (mean of two trials).

Abb. 5 Exemplarische Darstellung der Dauerwirkung von TCM + Foramsulfuron + Iodosulfuron + CSA gegen *Chenopodium album* im Vergleich zur Wirkung von Foramsulfuron + Iodosulfuron + Isoxadifen (Mittelwert aus zwei Versuchen).

Crop tolerance of early to mid post-emergent applications of TCM + CSA and also of TCM + foramsulfuron + iodosulfuron + CSA (= Maister power) was well within commercial requirements (Fig. 6). Crop response symptoms included temporary growth retardation and lighter green color of some leaf segments. Maximum damage ratings were taken 10 - 15 days after treatment and stayed on average below 2 % for TCM + CSA and at 4.5 % for its combination with foramsulfuron + iodosulfuron. Final ratings, taken 10 to 11 weeks after application, showed complete recovery of the crop. At any time average crop response ratings stayed below the limit of recognition of crop damage symptoms on a whole field scale.

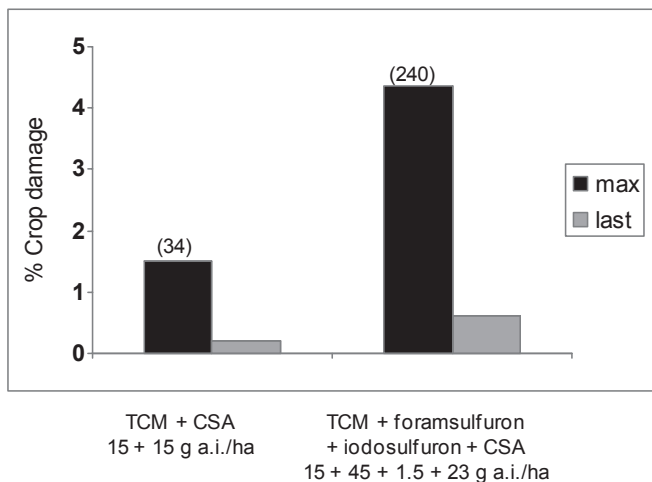


Fig. 6 Crop tolerance of different herbicide treatments after application in early to mid- post-emergence (2-6 leaf stage of maize). (n) = no. of trials.

Abb. 6 Die Verträglichkeit verschiedener Herbizidbehandlungen für Mais nach Anwendung im frühen bis mittleren Nachauflauf (2-6-Blattstadium des Maises). (n) = Anzahl Versuche.

4. Conclusion

TCM, when safened by CSA, is a new useful additional active ingredient for existing maize herbicide solutions. It allows, in combination with the 4-HPPD inhibitors isoxaflutole and tembotrione (SANTEL, 2009) or with the ALS inhibitors foramsulfuron and iodosulfuron, the creation of new broad spectrum herbicides for the selective control of most important annual and perennial grass and dicotyledonous weeds (Tab. 3). Both, combinations of TCM and CSA with isoxaflutole or with foramsulfuron and iodosulfuron result in commercial products, which can offer single pass weed control for a wide range weed infestations and environmental conditions. The soil and foliar activity of TCM not only allows the consistent control of existing weeds but also offers residual control can last for several weeks depending on use rate, soil, and weather conditions. The combination of two different modes of action in one product provides an important element in weed resistance management. The ability of the safener CSA to protect the crop after uptake from the soil or through the leaves secures crop tolerance over the entire use window of TCM ranging from prior to seeding and pre-emergence uses up to the six leaf stage of the target crop maize.

Tab. 3 Qualitative composition of thien carbazole-methyl-containing commercial corn herbicides.

Tab. 3 Qualitative Zusammensetzung Thien carbazole-Methyl-haltiger kommerzieller Maisherbizide.

Commercial Product	Active substance					Safener	
	Isoxa-flutole	Thien-carbazone	Foram-sulfuron	Iodo-sulfuron	Tembo-trione	Cypro-sulfamide	Isoxa-difen-ethyl
ADENGO [®] CORVUS [®]	X	X				X	
MAISTER Power [®]		X	X	X		X	
Development product		X	X			X	
CAPRENO [®]		X			X		X

The versatile use characteristics of TCM and CSA allowed to derive an entire family of selective maize herbicides (Tab. 3) from these two new components which have use in conventional maize as well as in herbicide tolerant maize when combined with nonselective herbicides like glyphosate or glufosinate-ammonium (SIMKINS et al., 2009).

References

- FEUCHT, D.D., K.-H. MÜLLER, A. WELLMANN AND H.-J. SANTEL, 1999: BAY MKH 6561 – A NEW SELECTIVE HERBICIDE FOR GRASS CONTROL IN WHEAT, RYE AND TRITICALE. PROC. BRIGHTON CONFERENCE – WEEDS **1**, 53–58.
- MÜLLER, K.-H., E.-R.F. GESING AND H.-J. SANTEL, 2011: SULFONYLAMINOCARBONYL-TRIAZOLINONES, IN: P. JESCHKE, P., W. KRÄEHMER, U. SCHIRMER AND M. WITSCHEL (EDS.): MODERN CROP PROTECTION COMPOUNDS, 2ND EDITION, WILEY-VCH VERLAG GmbH & Co. KGAA, WEINHEIM, IN PRINT.
- PHILBROOK, B.D. AND H.-J. SANTEL, 2007: THIENCARBAZONE-METHYL: A NEW MOLECULE FOR PRE- AND POSTEMERGENCE WEED CONTROL IN CORN. NORTH CENTRAL WEED SCIENCE SOCIETY ABSTRACTS **62**. [CD-ROM COMPUTER FILE].
- SANTEL, H.-J., B.A. BOWDEN, V.M. SORENSEN AND K.H. MÜLLER, 1999: FLUCARBAZONE-SODIUM - A NEW HERBICIDE FOR THE SELECTIVE CONTROL OF WILD OAT AND GREEN FOXTAIL IN WHEAT. PROC. BRIGHTON CONFERENCE - WEEDS **1**, 23–28.
- SANTEL, H.-J. AND B. PHILBROOK, 2008: THIENCARBAZONE-METHYL & ISOXAFLUTOLE: A NEW HERBICIDE PREMIXTURE FOR PREEMERGENCE WEED CONTROL IN CORN (ZEA MAYS), WEED SCIENCE SOCIETY AMERICA ABSTRACTS **117** [ONLINE ABSTRACT FILE].
- SANTEL, H.-J., 2009: LAUDIS OD – A NEW HERBICIDE FOR SELECTIVE POSTEMERGENCE WEED CONTROL IN CORN (ZEA MAYS, L). BAYER CROP SCIENCE JOURNAL **62**, 95 – 108.
- SIMKINS, G., D. LAMORE, J. HORA, B. PHILBROOK AND J. BLOOMBERG, 2009: CAPRENOTM (THIENCARBAZONE-METHYL + TEMBOTRIONE + ISOXADIFEN-ETHYL): A NEW HERBICIDE FOR GRASS AND BROADLEAF WEED CONTROL IN CORN, NORTH CENTRAL WEED SCIENCE SOCIETY ABSTRACTS **122**, [CD-ROM COMPUTER FILE].

MON 79351 – eine neue Glyphosat-Flüssigformulierung

MON 79351 – a novel liquid glyphosate herbicide

Björn Kiepe*, Holger Ophoff & Wolfgang Voegler

Monsanto Agrar Deutschland GmbH, Vogelsanger Weg 91, D-40470 Düsseldorf

*Korrespondierender Autor, bjoern.kiepe@monsanto.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.063

Zusammenfassung

MON 79351⁴ ist eine neuartige Glyphosat-Flüssigformulierung, welche eine weitere Entwicklungsoptimierung in der Roundup®-Produktfamilie darstellt. Mit 480 g/l Wirkstoffkonzentration übertrifft diese Flüssigformulierung unsere bisher in Deutschland vertriebenen wasserlöslichen Konzentrate. Das Produkt ist als Kaliumsalz formuliert und bietet Vorteile in der Anwendung gegenüber bisher verfügbaren Mitteln mit gleichem Wirkstoff. Die im Rahmen der Produktentwicklung durchgeführten Versuche attestieren MON 79351 eine hervorragende Wirksamkeit gegen mono- und dikotyle ein- und mehrjährige Unkräuter bei verschiedensten Bedingungen. Grund hierfür ist das neuartige Netzmittelsystem, welches bei sehr günstigem ökotoxikologischem Profil die nachhaltige Wirkung absichert. MON 79351 ist bereits in einigen europäischen Ländern zugelassen und auch in Deutschland ist die Zulassung angestrebt.

Stichwörter: Glyphosat, Kaliumsalz, nichtselektives Herbizid, Roundup®, SL, wasserlösliches Konzentrat

Summary

MON 79351 is a novel liquid glyphosate herbicide which represents the improved product generation within the Roundup® product family. Containing 480 g/l active ingredient, this liquid formulation exceeds our current distributed soluble concentrates in Germany. MON 79351 is formulated as a potassium salt and offers product advantages in contrast to conventional glyphosate products. In product development trials, MON 79351 provides an excellent efficacy against mono- and dicotyledonous annual and perennial weeds under diverse conditions. One reason to secure the sustainable efficacy is a new system of surfactants with a favorable ecotoxicological profile. MON 79351 is already approved in some European countries and registration is aimed for Germany.

Keywords: Glyphosate, non-selective herbicide, potassium salt, Roundup®, SL, water soluble concentrate

1. Einleitung

Der Wirkstoff Glyphosat (N-Phosphonomethyl-Glycin) ist ein systemisches Breitbandherbizid und zählt zu den Aminophosphonsäureverbindungen. Der Wirkstoff wird von Pflanzen über die grünen oberirdischen Pflanzenteile aufgenommen. In der Pflanze blockiert Glyphosat das Enzym EPSPS, wodurch die Bildung essentieller aromatischer Aminosäuren verhindert wird (GROSSBARD und ATKINSON, 1985).

Die erste Glyphosat-Zulassung wurde in Deutschland im Jahre 1974 für das Produkt Roundup® erteilt. Ein weiterer technologischer Fortschritt war die Einführung von Roundup Ultra® Mitte der 90er Jahre. 2001 wurde Glyphosat im Ergebnis der EU-Wirkstoffprüfung unter der RL 91/414/EWG in die Positivliste des Anhangs I aufgenommen. Der nächste Entwicklungsschritt in Deutschland erfolgte 2004 mit der Zulassung von Roundup®UltraMax, einer Flüssigformulierung mit 450 g Wirkstoffgehalt pro Liter.

Glyphosat ist heute global und in Deutschland ein sehr wichtiger Wirkstoff und insbesondere in der konservierenden Bodenbearbeitung ein unverzichtbares Produktionsmittel, das auf ca. 30 % der Ackerfläche eingesetzt wird (SCHMITZ et al., 2011). Glyphosat-haltige Pflanzenschutzmittel erlauben ein effektives nachhaltiges Unkrautmanagement. Ein äußerst breites Spektrum ein- und mehrjähriger mono- und dikotyle Verunkrautung wird sehr sicher erfasst. Zudem werden schwer bekämpfbare mehrjährige rhizombildende Unkräuter wie die Gemeine Quecke (*Agropyron repens*) oder Acker-

⁴ Das Mittel ist derzeit (bei Drucklegung) noch nicht zugelassen – Zulassung wird erwartet.

Kratzdistel (*Cirsium arvense*) nachhaltig bekämpft. Dies wurde in den Übersichtsarbeiten von O'KEEFE und MAKEPEACE für Ackerbaukulturen und von HAGGAR für Wiesen, Weiden und Stilllegungsflächen hinreichend dokumentiert (vgl. GROSSBARD und ATKINSON, 1985). Der Wirkstoff spielt eine wichtige Rolle beim Erntemanagement in Form der Ernteerleichterung („Sikkation“), sowie zur Realisierung der Feldhygiene nach der Ernte, indem die Unterbrechung von Infektionsketten („Grüne Brücke“) als wichtiges Merkmal mit der Unkrautbekämpfung auf der Stoppel einhergeht.

POWLES (2008) kommt zu dem Schluss, dass Glyphosat zum weltweit am häufigsten eingesetzten Herbizid geworden ist, weil es wirksam, wirtschaftlich und umweltfreundlich ist. So verfügt z.B. Roundup®UltraMax in Deutschland über 45 zugelassene Anwendungsgebiete und genehmigte Lückenindikationen im Ackerbau, Grünland, Wein-, Obst- und Zierpflanzenbau sowie Nichtkulturland und auch Forst. Roundup®UltraMax besitzt damit die breiteste Zulassung im Vergleich zu anderen Glyphosat-haltigen Pflanzenschutzmitteln.

Im Rahmen der Weiterentwicklung zu Roundup®UltraMax wurden die chemisch-physikalisch Eigenschaften neuer Formulierungskandidaten untersucht und Wirksamkeitsprüfungen unter verschiedenen standardisierten Umweltbedingungen durchgeführt. Im Folgenden werden Ergebnisse aus Versuchen zur Beurteilung der Vorzüglichkeit der neuen hochkonzentrierten Flüssigformulierung MON 79351 dargestellt.

2. Material und Methoden

2.1 Verwendete Testsubstanzen

Im Rahmen der Untersuchungen wurden die in Tabelle 1 dargestellten Pflanzenschutzmittel verwendet.

Tab. 1 Unterschiedliche Glyphosat-Formulierungen im Vergleich.

Tab. 1 Comparison of different glyphosate formulations.

Formulierung	MON 79351	Roundup®UltraMax	Herkömmliche Flüssigformulierung
Wirkstoffgehalt in	480 g/l	450 g/l	360 g/l
Konzentrationserhöhung*	+ 33 %	+ 25 %	
Verwendete Salzform	Kalium (K)	Isopropylamin (IPA)	Isopropylamin (IPA)
Salzgehalt in g/l	588 g/l	607 g/l	487 g/l
Netzmittel	POE-T frei	POE-T frei	POE-T haltig

* gegenüber herkömmlichen 360 g/l-Formulierungen, POE-T = polyethoxylated-Tallowamin Klimakammer- und Gewächshausversuche

Um den gewachsenen Anforderungen an modernen Pflanzenschutzmitteln gerecht zu werden, bedarf es eines systematischen Ansatzes im Formulierungsscreening. Zu Beginn werden deren chemisch-physikalische Eigenschaften im Labormaßstab mit Blick auf die Fragestellungen charakterisiert. Nach Identifikation eines geeigneten Kandidaten erfolgt eine erste Prüfung zur Wirksamkeit unter verschiedenen Umweltbedingungen gefolgt von weiteren Freilanduntersuchungen.

Zunächst erlangen Gewächshaus-Studien mit simulierten Witterungsbedingungen eine besondere Bedeutung. Unter Einstellung besonders herausfordernder, reproduzierbarer Randbedingungen geben diese eine erste Auskunft über die Möglichkeiten und Grenzen von neuen Formulierungen. Im Rahmen der Produktentwicklung wird dabei besonders auf Prüfungen der nachfolgend in Tabelle 2 aufgeführten Bedingungen wertgelegt.

Tab. 2 Simulierte Umweltbedingungen in Klimakammer- und Gewächshausversuchen.

Tab. 2 *Simulated environmental conditions in the growth chamber and green house studies.*

Test-Bedingungen	Testgrößen
Kühles, arides Klima	20 % relative Luftfeuchtigkeit bei 12 °C
Warmes, arides Klima	20 % relative Luftfeuchtigkeit bei 32 °C
Wasserhärte	0 ppm CaCO ₃ und 1000 ppm CaCO ₃ *
Niederschlag nach Anwendung	5 mm künstliche Beregnung 1 Stunde nach Applikation 5 mm künstliche Beregnung 2 Stunden nach Applikation
Grenzaufwandversuche	540 g a.i./ha, 720 g a.i./ha, 1080 g a.i./ha, (1440 g a.i./ha)

*1 ppm entspricht 1 mg/l CaCO₃

Die Versuche werden mit typischen Unkräutern durchgeführt. Häufig verwendete Arten sind *Agropyron repens* (AGRRE), *Geranium dissectum* (GERDI), *Abuthilon theophrasti* (ABUTH), *Lolium multiflorum* (LOLMU), *Malva* spp. (MALSS) oder *Viola* spp. (VIOSS).

2.3 Wirksamkeitsstudien und spezielle Feldversuche

Zur Beurteilung methodischer Fragestellungen werden sowohl standardisierte Wirksamkeitsversuche gemäß der EPP0-Richtlinien angelegt als auch spezielle Versuchsdesigns entwickelt. Bei den unter 3.2 zusammengetragenen Daten handelt es sich um aggregierte Wirksamkeitsergebnisse in verschiedenen Anwendungsbereichen. Die Wirksamkeit ist über alle Unkräuter zusammengefasst. Die getesteten Aufwandmengen liegen in einem Bereich von 540 bis maximal 1440 g a.i. pro ha, um Aussagen zur Leistungsfähigkeit der Prüfmittel treffen zu können.

Die unter 3.3 dargestellten Ergebnisse der Wartezeit bis zur nachfolgenden Bodenbearbeitung bedurften eines speziellen Versuchsdesigns, um Analogien zur landwirtschaftlichen Praxis zu schaffen. In den Versuchen wurde beginnend mit der Applikation zu unterschiedlichen Zeiten nach der Anwendung sowohl eine wendende als auch eine nicht-wendende Bodenbearbeitung durchgeführt. Die Wirksamkeitsdaten wurden über einen längeren Zeitraum erfasst, um auch die Nachhaltigkeit der Behandlungen bei Rhizomunkräutern bonitieren und bewerten zu können.

Die statistische Verrechnung der Versuchsergebnisse erfolgte mittels Student-Newman-Keuls-Test. Dabei kam eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (Feld-) bzw. 1 % (Gewächshausversuche) zum Ansatz.

3. Höhere Wirkstoffkonzentration und Produkteigenschaften

Glyphosatsäure ist nicht wasserlöslich, daher sind alle Glyphosatherbizide mit Salzformen dieses Wirkstoffes formuliert. Herkömmliche flüssige Glyphosatprodukte enthalten in der Regel 360 g/l Säureäquivalent Glyphosat, entsprechend ca. 487 g/l Isopropylaminsalz. MON 79351 ist die erste Glyphosatformulierung mit 480 g/l, in der der Wirkstoff Glyphosat als Kaliumsalz vorliegt. Als wasserlösliches Konzentrat (SL) enthält MON 79351 mit 480 g/l ein Drittel mehr Glyphosat im Vergleich zu herkömmlichen Flüssigformulierungen, Säureequivalent entsprechend 588 g/l Glyphosat-Kaliumsalz (Tab. 1). Die Flüssigformulierung MON 79351 zeichnet sich durch eine schnelle Löslichkeit in Wasser aus.

Die geringe Viskosität von MON 79351 infolge der neu verwendeten K-Salzform sorgt für eine schnelle und sichere Packungsentleerung mit weniger Gebinderestmengen. Ein spezielles Kanisterdesign („No-Glug“) unterstützt ein gleichmäßiges Ausleeren und verhindert Spritzer. Damit wird der Anwender- und Umweltschutz im Umgang mit dem Mittel beim Ansetzen der Spritzlösung verbessert und trägt zusätzlich zur Vermeidung von Punktquellen bei.

Auch mit Blick auf die toxikologischen und ökotoxikologischen Eigenschaften (Tab. 3) stellt MON 79351 ebenfalls eine Weiterentwicklung dar. Aufgrund der günstigen Endpunkte sind keine negativen Auswirkungen von MON 79351 auf Mensch, Tier, Boden, Wasser oder Luft als Folge einer bestimmungsgemäßen Anwendung zu erwarten. Dies wird u.a. durch die Risikobewertung in anderen Mitgliedsländern, in denen MON 79351 bereits zugelassen ist, bestätigt.

Tab. 3 Toxikologische und ökotoxikologische Eigenschaften von MON 79351.**Tab. 3** *Toxicological and eco-toxicological properties on MON 79351.*

Testverfahren	Endpunkt
Ratte, akut oral LD ₅₀	> 2000 mg/kg – nicht eingestuft
Kaninchen, akut dermal LD ₅₀	> 2000 mg/kg – nicht eingestuft
Kaninchen, Hautreizung	Leicht reizend - nicht ausreichend für eine Einstufung
Meerschweinchen, Hautsensibilisierung	Nicht sensibilisierend - nicht eingestuft
Fisch (<i>Onchorhynchus mykiss</i>), 96 h LC ₅₀	522
Invertebrat (<i>Daphnia magna</i>), 48 h EC ₅₀	243
Alge (<i>Selenastrum capricornutum</i>), 72 h ErC ₅₀ (Wachstum)	118
Honigbiene (<i>Apis mellifera</i>), oral LD ₅₀ 48 h, µg a.s./ Biene	>101
Honigbiene (<i>Apis mellifera</i>), Kontakt LD ₅₀ 48 h, µg a.s./ Biene	>100
Regenwurm (<i>Eisenia foetida</i>), 14-d LC ₅₀ , mg/kg Trockenboden	>10000

3.1 Wirksamkeit bei unterschiedlichen Indikationen

Die aktuell zugelassene Roundup®-Formulierung UltraMax (450 g/l Glyphosat) erzielt bei vielen Unkrautarten einen sehr hohen Wirkungsgrad und ist herkömmlichen 360 g-Formulierungen in vielen Aspekten überlegen. Mit MON 79351 konnte die Wirksamkeit noch weiter verbessert werden. Vor allem bei ungünstigen Anwendungsbedingungen, zum Beispiel bei kühlen Temperaturen, geringer Luftfeuchtigkeit und hartem Wasser, zeigt MON 79351 eine größere Stabilität in der Wirksamkeit und ist damit bestens für professionelle Anwendungen geeignet. Daten aus umfangreichen Versuchsserien bestätigen die sichere Wirkung.

Abb. 1 zeigt die Wirkung von MON 79351 und einer 450 g-Formulierung bei verschiedenen Indikationen. MON 79351 wirkt in allen Indikationen im Mittel besser als das Referenzprodukt und weist eine geringere Schwankungsbreite auf. Unter Berücksichtigung von Applikationen mit suboptimalen Aufwandmengen wird insbesondere bei den Indikationen Vorsaats/Voraufbau, Sikkation und Stilllegung ersichtlich, dass MON 79351 bei reduzierten Wirkstoffmengen und ungünstigen Anwendungsbedingungen dem Vergleichsmittel überlegen ist.

Hierbei ist besonders zu betonen, dass nur die Verwendung suboptimaler Aufwandmengen eine Ermittlung von Grenzen und die Beurteilung von Unterschieden der verschiedenen Formulierungen ermöglicht. Aufgrund der gewählten zu geringen Aufwandmengen werden damit für einige Unkräuter zum Teil weniger befriedigende Wirkungsgrade erzielt, bei maximal zugelassenen Aufwandmengen entsprechen die Wirkungsgrade mit > 95 % der Erwartung.

Neben Daten aus Feldversuchen belegen auch Klimakammer- und Gewächshausexperimente unter reproduzierbaren, kontrollierten Bedingungen die sehr sichere Wirkung von MON 79351. Hier lassen sich gezielt bestimmte Umweltbedingungen und ihr Einfluss auf die Wirkung simulieren, was die Beurteilung der Wirksamkeit verschiedener Formulierungen erleichtert. In Abbildung 2 ist die Wirkung von MON 79351 gegenüber Vergleichsmitteln (VGM) bei unterschiedlichen Bedingungen und einer Aufwandmenge von 1080 g/ha dargestellt. Während die Verrechnung der Versuchsergebnisse über die beiden getesteten Unkrautarten *Geranium dissectum* (GERDI) und *Abutilon theophrasti* (ABUTH) keine signifikanten Unterschiede erbrachte, traten nach der artspezifischen Auswertung statistisch gesicherte Unterschiede zu Tage, MON 79351 zeigte bei *Geranium* eine signifikant bessere oder vergleichbare Wirkung gegenüber derzeit zugelassenen Glyphosat-Produkten (Tab. 4). Dies gilt vor allem unter Berücksichtigung, dass *Geranium* besonders schwer zu bekämpfen ist und oft nur mit höheren Aufwandmengen sicher gelingt. Insofern stellt die neue Formulierung MON 79351 eine echte Innovation dar und kann auch auf Grundlage der umfangreichen Ergebnisse aus Laborversuchen als Formulierung mit hohem Wirkungsgrad und hoher Zuverlässigkeit insbesondere unter kritischen Anwendungsbedingungen charakterisiert werden. Zusammenfassend ist MON 79351 damit flexibler einsetzbar. Die sehr gute Wirkung

insbesondere unter ungünstigen Bedingungen (hohe und niedrige Temperaturen, geringe Luftfeuchtigkeit, taufeuchte Bestände, schnelle Regenfestigkeit von 1 Stunde) in Kombination einer 33 % höheren Wirkstoffkonzentration gegenüber herkömmlichen 360 g-Formulierungen bedeutet eine höhere Effizienz bei der Unkrautbekämpfung.

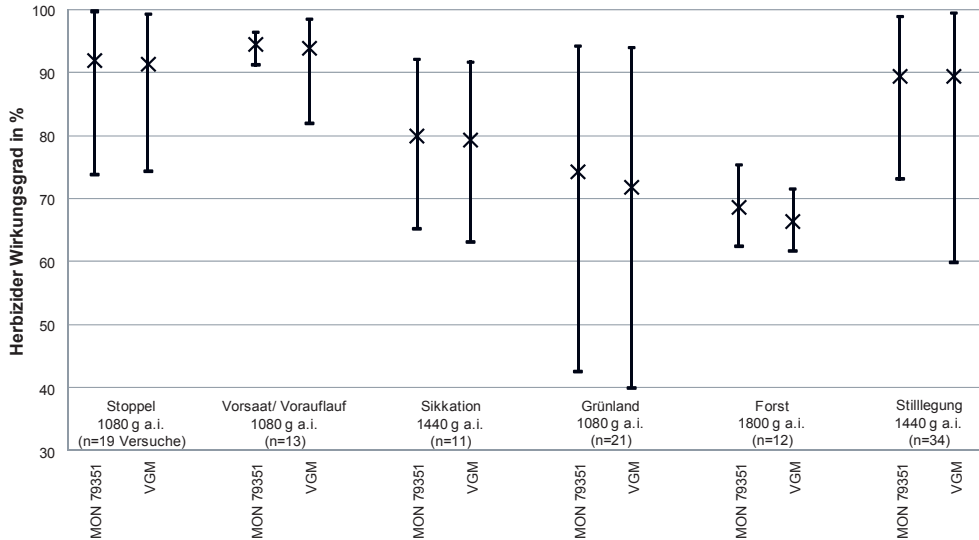


Abb. 1 Mittlerer herbizider Wirkungsgrad über alle Unkräuter und Schwankungsbreite von MON 79351 im Vergleich mit einem Vergleichsmittel (450 g/l Glyphosat) bei verschiedenen Indikationen (n = 110). a. i.: Aktive Wirksubstanz Glyphosat in g/l. Quelle: Monsanto, 2011.

Fig. 1 Average efficacy across all weeds and variation of MON 79351 in comparison to a reference product (450 g/l Glyphosate) and different indications (Summary of 110 ratings). Source: Monsanto, 2011.

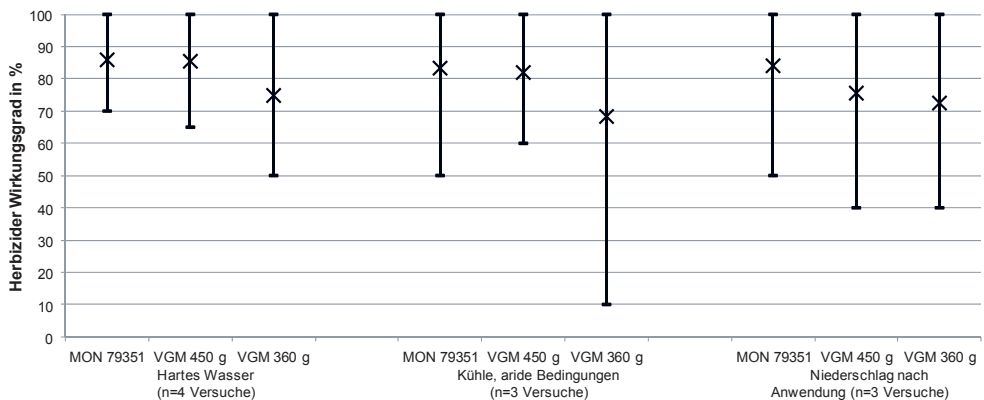


Abb. 2 Wirksamkeit (%) und Schwankungsbreite von MON 79351 über alle getesteten Unkrautarten gegenüber VGM bei unterschiedlichen Gewächshaus-Bedingungen, Aufwandmenge 1080 g/ha. Quelle: Monsanto, 2011.

Fig. 2 Efficacy (%) and variation of MON 79351 across all tested weeds in comparison to reference products under different green house conditions, use rate 1080 g/ha. Source: Monsanto, 2011.

Tab. 4 Wirkungsvergleiche von MON 79351 in Gewächshausstudien unter verschiedenen Bedingungen.

Tab. 4 Green house comparison of MON 79351 efficacy under different conditions.

	MON 79351 im Vergleich mit 450 g-VGM*	MON 79351 im Vergleich mit 360 g-VGM*
Kühles, arides Klima		
ABUTH (n = 6)	kein signifikanter Wirkunterschied	kein signifikanter Wirkunterschied
GERDI (n = 6)	Signifikant bessere Wirkung (p < 0,01)* Hartes Wasser	Signifikant bessere Wirkung (p < 0,01)*
ABUTH (n = 6)	kein signifikanter Wirkunterschied	Signifikant bessere Wirkung (p < 0,01)
GERDI (n = 6)	Signifikant bessere Wirkung (p < 0,01)* Berechnung nach 1 h	Signifikant bessere Wirkung (p < 0,01)*
ABUTH (n = 6)	kein signifikanter Wirkunterschied	kein signifikanter Wirkunterschied
GERDI (n = 3)	kein signifikanter Wirkunterschied	Signifikant bessere Wirkung (p < 0,01)*

* Newman-Keuls-Test,

3.2 Einfluss der nachfolgenden Bodenbearbeitung auf die Wirksamkeit

Um die Wartezeit bis zur nachfolgenden Bodenbearbeitung für die Formulierung MON 79351 zu ermitteln, wurden insgesamt acht Großparzellen-Versuchen mit verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren in Deutschland (n=6) und Ungarn (n=2) durchgeführt. Voraussetzung war ein gleichmäßiger Besatz mit *Agropyron repens* (AGRRE) bzw. *Sorghum halepense* (SORHA) als Indikator für schwer bekämpfbare mehrjährige Verunkrautung. Je nach Standort waren zwischen 14 und 616 Triebe von AGRRE bzw. 5 und 10 Triebe von SORHA je m² vorhanden.

Als Wartezeitintervalle wurden sechs Stunden sowie zwei, drei, fünf und sieben Tagen gewählt. Die applizierte Aufwandmenge betrug 1800 g Wirkstoff pro Hektar. Bereits nach einer Wartezeit von zwei Tagen werden selbst hartnäckige Unkräuter sicher mit über 95 % Wirkungsgrad bekämpft. Eine längere Wartezeit bis zur Bodenbearbeitung führt zu keiner weiteren Wirkungsverbesserung (Abb. 3). Die Ergebnisse erlauben somit für die neue Formulierung MON 79351 eine Reduktion der empfohlenen Mindest-Wartezeit vor einer Bodenbearbeitung bei schwer bekämpfbarer mehrjähriger Verunkrautung. Die schnelle Wirkung in Kombination mit kurzen Umbruchzeiten erlaubt es der landwirtschaftlichen Praxis, anstehende Arbeiten zeitnah und fristgerecht zum optimalen Zeitpunkt zu erledigen. Längere Wartezeiten entfallen.

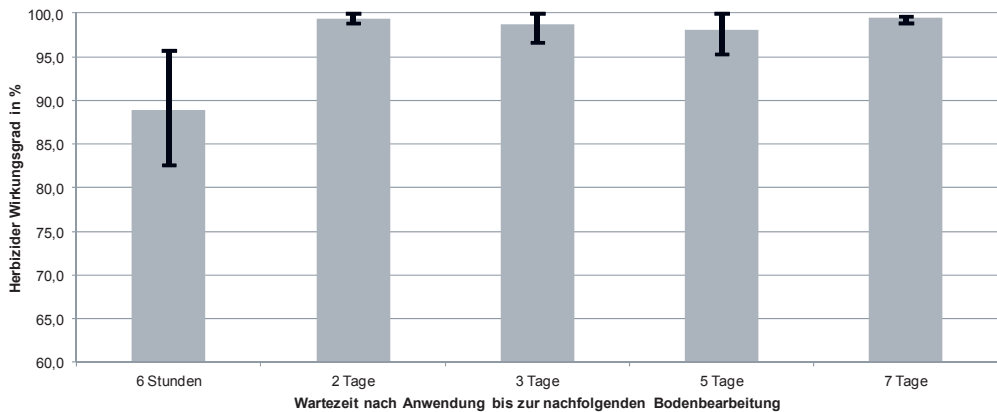


Abb. 3 Wirkungsgrad (%) und Schwankungsbreite von MON 79351 gegen mehrjährige Verunkrautung (AGRRE, SORHA) nach unterschiedlichen Bodenbearbeitungs-Intervallen. Quelle: Monsanto, 2010.

Fig. 3 Efficacy (%) and variation of MON 79351 against perennial weeds (AGRRE, SORHA) under different tillage intervals. Source: Monsanto, 2010.

3.3 Verbessertes Abdrift-Verhalten

Die Abdrift von Pflanzenschutzmitteln während der Anwendung ist von vielen Faktoren wie z.B. Windgeschwindigkeit, Abstand zur Zielfläche, Düsenwahl, Spritzdruck, resultierende Tröpfchengröße, etc. abhängig (MILLER, 2009). So kann auch Glyphosat bei etwaiger Abdrift zu Schäden auf Nichtzielflächen führen. Im Rahmen einer Studie wurde die Formulierung MON 79351 unter definierten Bedingungen ausführlich hinsichtlich des Abdriftverhaltens untersucht (vgl. MILLER, 2009). Während bei Anti-Drift-Düsen kaum Abdrift auftritt, zeigt sich bei Flachstrahldüsen ein gewisses Abdriftpotenzial. Das Potenzial lässt sich über den Anteil sehr kleiner Tröpfchen (<100 µm) bestimmen. Diese Tröpfchengröße gilt als besonders abdriftgefährdet.

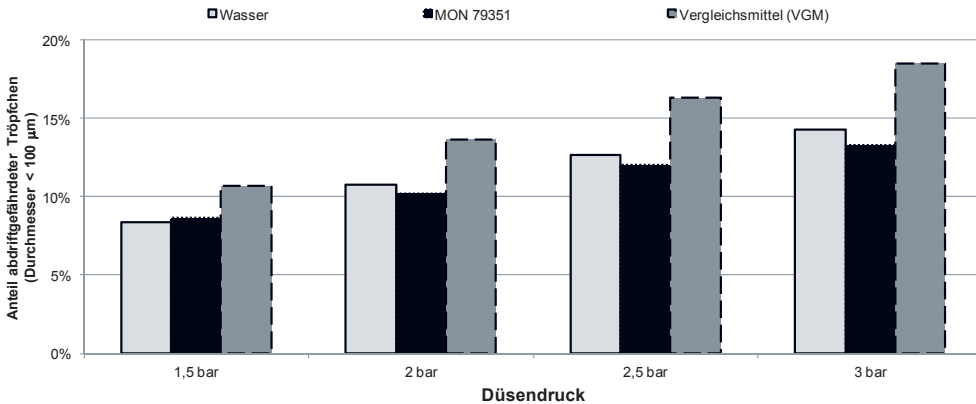


Abb. 4 Anteil abdriftgefährdeter Tröpfchen (Durchmesser < 100 µm) bei unterschiedlichem Betriebsdruck und Verwendung von Flachstrahldüsen (Teejet 11003VS). 1 µm = 10⁻⁶ m (MILLER, 2009).

Fig. 4 Share of driftable droplets (diameter < 100 µm) under different pressure by usage of flat fan nozzles (MILLER, 2009).

Im Vergleich zu herkömmlichen Formulierungen konnte bei MON 79351 im Mittel deutlich weniger Abdriftpotenzial ermittelt werden. Abbildung 4 zeigt den Anteil von Kleinsttropfen bei unterschiedlichem Betriebsdruck des Pflanzenschutzgerätes. Dabei weist MON 79351 ein nahezu identisches Abdriftpotenzial im Vergleich zu Wasser auf. Die Ursache für das bessere Abschneiden von MON 79351 im Vergleich zu der herkömmlichen Formulierung liegt in der neuen Zusammensetzung sämtlicher enthaltener Beistoffe. Neben den bereits erwähnten Haupteinflussfaktoren mit Bezug auf Abdrift liefert die neue Formulierung einen weiteren Beitrag zur Minderung des Abdrifttrisikos.

3.4 Verbesserte Mischbarkeit und Kombination mit Bodenherbiziden

Die Mischbarkeit von Glyphosat in Kombination mit bodenwirksamen Herbiziden kann beim Anbau von Getreide, Mais, Zuckerrüben und anderen Kulturen eine wichtige Option für landwirtschaftliche Betriebe darstellen. Auf Grundlage der Zulassung „Vor oder nach der Saat von Ackerbaukulturen (bis BBCH 03)“ kann die Mischung von Herbiziden, die im Voraufbau der Kultur zugelassen sind, vor allem bei Mulch- und Direktsaaten helfen, die herbizide Wirkung aufgrund der Residualwirkung anderer Wirkstoffe abzusichern. Mit dem Wirkstoff Glyphosat kann diese erste Unkrautwelle gezielt ausgeschaltet werden. Sehr gute Bekämpfungserfolge werden bereits mit geringen Aufwandmengen (900 g a.i. Glyphosat) erreicht. Aktuelle Problemgräser wie z. B. Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) lassen sich mit dieser Aufwandmenge sicher mit Wirkungsgraden von 100 % bekämpfen (KLINGENHAGEN, 2010). Aufgrund der sehr sicheren Gräserwirkung können Mischungen von Glyphosat und Bodenherbiziden bis BBCH 03 auch als Beitrag im Rahmen eines Gräser-Resistenzmanagements gesehen werden. Um die Möglichkeit von Mischungen mit Bodenherbiziden abzusichern, wurden mit insgesamt 154 verschiedenen Wirkstoffen – vorrangig Herbizide – oder Wirkstoffkombinationen physikalisch-chemische Mischbarkeits-Versuche durchgeführt. Die neue Formulierung MON 79351 ist

mit vielen gängigen Bodenherbiziden mischbar, ein deutlicher Vorteil im Vergleich zu anderen praxisüblichen Formulierungen. Versuche mit sehr häufig verwendeten Bodenherbiziden haben auch unter Feldbedingungen die Mischbarkeit ohne etwaige Wirkungsantagonismen bestätigt.

4. Zusammenfassung

Die neue Glyphosat-Formulierung MON 79351 ist eine technische Weiterentwicklung hinsichtlich Wirkungssicherheit unter suboptimalen Bedingungen, Anwendersicherheit und Umweltverhalten. Damit vereint MON 79351 eine Reihe von Vorteilen, die von bisher zugelassenen Glyphosat-Formulierungen in dieser Kombination nicht erreicht werden. Verkürzte Wartezeiten bis zur nachfolgenden Bodenbearbeitung, verbesserte Mischbarkeit und ein reduziertes Abtriffrisiko stellen eine Produktinnovation unter den modernen Glyphosat-Formulierungen dar.

Literatur

- GROSSBARD, E. UND D. ATKINSON (EDS.), 1985: THE HERBICIDE GLYPHOSATE. BUTTERWORTH, BOSTON, US.
- KLINGENHAGEN, G., 2010: SENSITIVITÄTSVERGLEICH VERSCHIEDENER ACKERFUCHSSCHWANZPOPULATIONEN (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*) GEGENÜBER HERBIZIDEN UNTER FREILANDBEDINGUNGEN. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 269-270.
- MILLER, P. C. H. UND C. R. TUCK (SILSOE SPRAY APPLICATIONS UNIT (PART OF THE NIAB/TAG GROUP)), 2009: MEASUREMENTS OF THE SPRAY CHARACTERISTICS WHEN DIFFERENT TEST FORMULATIONS WERE SPRAYED THROUGH DIFFERENT AGRICULTURAL NOZZLE DESIGNS, SSAU 08/09 9/1, 2009.
- POWLES, S. B., 2008: EVOLVED GLYPHOSATE-RESISTANT WEEDS AROUND THE WORLD: LESSONS TO BE LEARNT. PEST MANAGEMENT SCIENCE **64**, 360–365.
- SCHMITZ, P. M., 2011: AGRO-ECONOMIC ANALYSIS OF THE USE OF GLYPHOSATE IN GERMANY. SCHRIFTENREIHE DES INSTITUTS FÜR AGRIBUSINESS IN GIEBEN.

Kyleo® - Ein neues Breitbandherbizid für den Einsatz auf der Stoppel

Kyleo® - A new broad spectrum herbicide for use on stubbles

Jürgen Zink^{1*}, Tobias Diehl¹, Guillaume Duchamp³, Eric Gibert², Manfred Konrad³, Hans Stadler¹ & Heloise Valensuela³

¹Nufarm Deutschland GmbH, Im Mediapark 4e, 50670 Köln, Deutschland

²Nufarm GmbH & Co KG, St.-Peter-Straße 25, 4021 Linz, Österreich

³Nufarm S.A.S., 28, Boulevard Zéphirin Camélinat, 92233 Gennevilliers, Frankreich

*Korrespondierender Autor: juergen.zink@de.nufarm.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.064

Zusammenfassung

Kyleo® ist eine Coformulierung auf der Basis von 160 g/l 2,4-D (als Säure) und 240 g/l Glyphosat (MIPA Salz), die sich durch eine besonders schnelle und tiefgreifende Wirkung gegen perennierende Unkräuter, Ausfallraps und Ausfallgetreide auszeichnet. Mit 2,4-D als synthetischem Auxin und Glyphosat als EPSP Synthase-Hemmer werden zwei komplementäre Wirkstoffe aus unterschiedlichen Gruppen von Wirkungsmechanismen kombiniert. Die innovative Fertigformulierung mit 200 g/l Cocoalcylamin (FHS) ermöglicht trotz extrem unterschiedlicher pH-Ansprüche der Einzelwirkstoffe eine Kombination ohne Wirkungsverlust im Gegensatz zur Tankmischung.

Generell zeigt Kyleo eine im Vergleich zu reinen Glyphosat-Formulierungen stark erhöhte Wirkungsgeschwindigkeit. Die Wirkung auf dikotyle Unkräuter in größeren Entwicklungsstadien wird durch die Kombination der beiden Wirkstoffe verbessert. Ausfallraps im 8-10 Blattstadium wird bereits mit 3 l/ha sicher erfasst, Ausfallgetreide ebenso. Auf Ausfallerbbsen und -bohnen kann mit Hilfe der Coformulierung eine erheblich bessere Wirkung als mit den Soloprodukten und eine synergistische Wirkung gegenüber der Tankmischung erreicht werden. Auf Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) wurde mit 3 l/ha eine 95 %ige Wirkung erzielt. Gegen den Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) werden vier Wochen nach der Anwendung Wirkungsgrade von 82 % mit 3 l/ha und 92 % mit 5 l/ha erreicht. Die Ackerwinde (*Convolvulus arvensis*) wird mit 3 l/ha zu 88 %, mit 5 l/ha zu 100 % erfasst. Gegen die Quecke (*Agropyron repens*) wird mit 5 l/ha Kyleo ein Wirkungsgrad von 96 % erreicht.

Durch sein breites Wirkungsspektrum und insbesondere die gute Wirkung gegen perennierende Arten, eignet sich Kyleo sehr gut für den Einsatz in Anbausystemen mit Minimalbodenbearbeitung, aber auch auf Gleisen, im Obstbau oder zur Grünlanderneuerung.

Stichwörter: Ausfallgetreide, Ausfallraps, Breitbandherbizid, 2,4-D, Glyphosat, Kyleo, perennierende Unkräuter, Stoppel, Wirkungsgeschwindigkeit

Summary

Kyleo® is a coformulation of 160 g/l 2,4-D (as acid) and 240 g/l glyphosate (as MIPA salt), with rapid action and excellent efficacy against volunteer oilseed rape, cereals and perennial weeds. Two complementary active ingredients with different MOA are combined in an innovative coformulation using 200 g/l cocoalcylamin (adjuvant) to handle the extremely different pH requirements of the actives, avoiding a loss of efficacy that often appears using the tankmix of both.

Volunteer oilseed rape at 8-10 leaf stage is controlled already with 3 l/ha, volunteer cereals as well. The efficacy against volunteer beans and peas is improved significantly versus the use of the actives and a synergistic effect can be observed compared to the tankmix of both. At 3 l/ha respectively 5 l/ha the control levels against *Equisetum arvense* reached 82 % and 95 %, against *Convolvulus arvensis* 88 % respectively 100 % and against *Agropyron repens* 96 % with 5 l/ha.

With its broad spectrum and the good efficacy against perennial weeds, Kyleo is an excellent option for for minimum tillage systems as well as for the use on railways, in orchards and for grassland renewal.

Keywords: Broad spectrum, 2,4-D, glyphosate, herbicide, Kyleo, perennial weeds, rapid action, stubble, volunteer crops

1. Einleitung

Die chemische Unkrautbekämpfung auf der Stoppel ist ein elementarer Bestandteil moderner Anbausysteme. Der verstärkte Einsatz reduzierter Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat, aber auch höhere Anteile von Mais in der Fruchtfolge führen im Laufe der Zeit zu einer stärkeren Verunkrautung mit perennierenden Unkräutern wie der Quecke, Disteln und Winden. Zur Verbesserung der Wirkung insbesondere gegen die perennierenden dikotylen Unkräuter werden daher bei Glyphosat-Anwendungen oft Wuchsstoffe zugesetzt. Allerdings werden bei Tankmischungen von Glyphosat und Wuchsstoffen häufig Wirkungsminierungen gegenüber dem Einzeleinsatz der Wirkstoffe festgestellt, die auf eine chemische Unverträglichkeit in der Tankmischung durch die extrem unterschiedlichen pH-Ansprüche der Wirkstoffe zurückzuführen sind.

Kyleo® ist eine Fertigformulierung von 2,4-D als Säure mit 160 g/l und Glyphosat als MIPA-Salz mit 240 g/l, in der die Säure durch das Netzmittel Cocoalcyllamin (200 g/l) neutralisiert und damit ein Austausch der Salze verhindert wird (Glyphosat MIPA + 2,4 D DMA <-> Glyphosat DMA + 2,4-D MIPA). Das Verhältnis der beiden Wirkstoffe wurde so eingestellt, dass eine sichere Kontrolle schwer zu bekämpfender Gräser und Unkräuter ermöglicht wird. Die Wirkungsmechanismen der beiden Wirkstoffe 2,4-D (Wuchsstoff) und Glyphosat (EPSP Synthase-Hemmer) ergänzen sich optimal. Der Zusatz weiterer Netzmittel zur Spritzbrühe ist nicht erforderlich.

2. Material und Methoden

2.1 Feldversuche

Die Ergebnisse entstammen einer Versuchsserie mit insgesamt 35 Feldversuchen nach GEP Standard, in acht Ländern in den Jahren 2008, 2009 und 2010. Dabei kamen acht Versuchsprotokolle mit lokalen Vergleichsvarianten zum Einsatz. Die Versuchsglieder wurden jeweils vierfach wiederholt. Die Ergebnisse stammen aus mindestens fünf Versuchen, die die jeweiligen Unkräuter in ausreichender Zahl enthielten. Als Vergleichsmittel wurden U 46® D Fluid (500 g 2,4 D-DMA) und Roundup® UltraMax (450 g/l Glyphosat) eingesetzt.

3. Ergebnisse

3.1 Wirkung auf Ausfallraps und -Getreide

Haupteinsatzbereich von Kyleo wird die Behandlung von Stoppelflächen sein, in der Regel von Getreide, Raps oder Mais. Während Kulturpflanzen und Unkräuter zum Einsatzzeitpunkt nach flacher Bodenbearbeitung eher klein sind und in relativ ähnlichen Entwicklungsstadien vorliegen, stellt die Bekämpfung von Altunkräutern höhere Anforderungen an die eingesetzten Herbizide.

Bei der Behandlung von Ausfallraps mit Kyleo konnte ein deutlicher Synergieeffekt gegenüber dem Einzeleinsatz der Wirkstoffe mit gleichen Aufwandmengen beobachtet werden (Abb. 1).

Die zur Bekämpfung von weit entwickeltem Ausfallraps erforderliche Aufwandmenge liegt bei 3 l Kyleo pro ha (Abb. 2). Die Blattmasse stirbt erheblich schneller ab als beim alleinigen Einsatz von Glyphosat, was bei nachfolgender Bodenbearbeitung und/oder Saat für den Landwirt von entscheidendem Vorteil sein kann.

Für die sichere Bekämpfung von Ausfallgetreide wird eine Aufwandmenge von 3 l/ha Kyleo empfohlen, unter günstigen Bedingungen reichen auch schon niedrigere Aufwandmengen hierfür aus (Abb. 3).

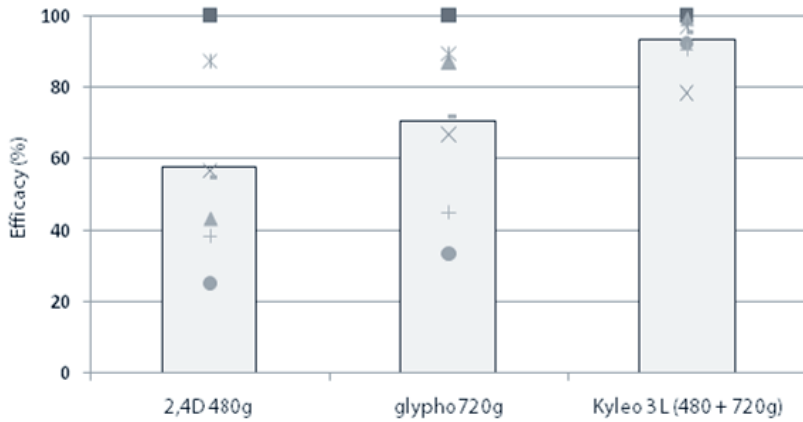


Abb. 1 Wirkung von Kyleo und Produkten mit den Einzelwirkstoffen (g ai/ha) auf Ausfallraps.
Fig. 1 Efficacy of Kyleo and products with straight actives (g ai/ha) on volunteer oilseed rape.

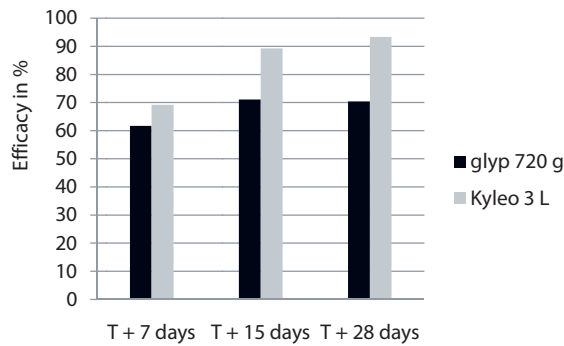


Abb. 2 Wirkung von Kyleo (l/ha) auf Ausfallraps zu unterschiedlichen Boniturterminen.
Fig. 2 Efficacy of Kyleo (l/ha) on volunteer oilseed rape at different timings of assessments.

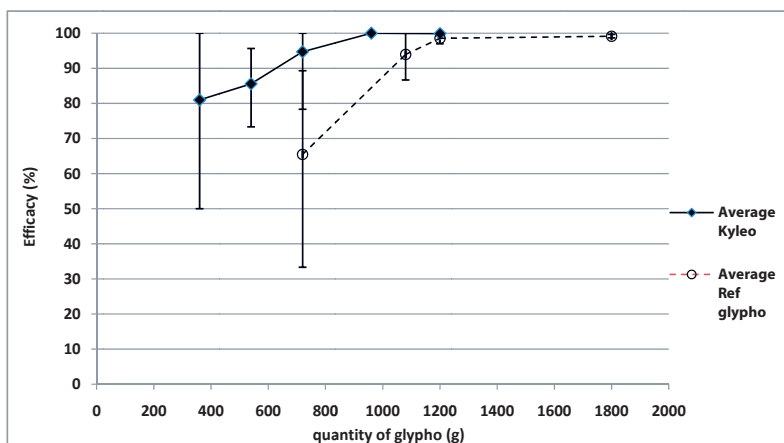


Abb. 3 Wirkung von Kyleo (g/ha Glyphosat) auf Ausfallgetreide (Winterweizen, Wintergerste).
Fig. 3 Efficacy of Kyleo (g/ha glyphosate) on volunteer cereals (winter wheat and barley).

3.2 Wirkung auf perennierende Unkräuter

Wirkung auf Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*)

Die Bekämpfung von Disteln ist häufig ein Grund für den Zusatz von Wuchsstoffen zu Glyphosat-haltigen Produkten bei der Stoppelbehandlung, aber auch beim Einsatz zur Grünlanderneuerung, bei der damit eine Wirkungsverbesserung auf Ampfer und andere perennierende Weideunkräuter angestrebt wird. Die Disteln sterben bei Behandlung mit Kyleo im Vergleich zu reinen Glyphosat-Produkten schneller ab, beide Produkte erreichen bei der letzten Bonitur im Behandlungsjahr einen Wirkungsgrad von ca. 95 % (Abb. 4). Untersuchungen zur Dauerwirkung sind derzeit noch in der Durchführung.

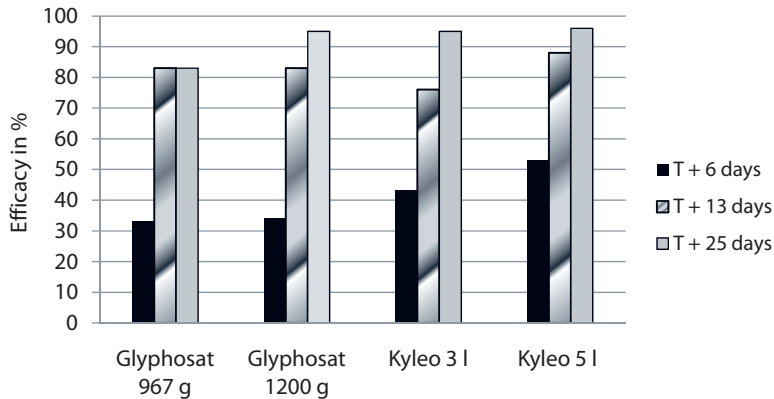


Abb. 4 Wirkung von Kyleo (l/ha) auf Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) in Abhängigkeit vom Boniturtermin (Tage nach der Behandlung).

Fig. 4 Efficacy of Kyleo (l/ha) on *Cirsium arvense* depending on timing of assessments (days after treatment).

Wirkung auf Ackerwinde (*Convolvulus arvensis*)

Die Ackerwinde tritt durch den wachsenden Anteil von Mais in den Fruchtfolgen vermehrt als Problemunkraut auf. Im Vergleich zu deutlich höheren Wirkstoffaufwandmengen bei alleinigem Einsatz von Glyphosat werden mit Kyleo verbesserte Wirkungsgrade erzielt. Mit einer Aufwandmenge von 5 l/ha Kyleo wurde eine vollständige Bekämpfung erreicht (Abb. 5).

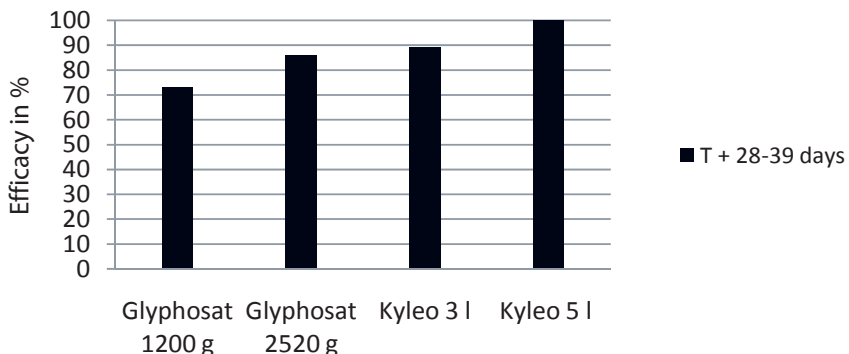


Abb. 5 Wirkung von Kyleo (l/ha) auf Ackerwinde (*Convolvulus arvensis*), 28-39 Tage nach der Behandlung.

Fig. 5 Efficacy of Kyleo (l/ha) on *Convolvulus arvensis* 28-39 days after treatment.

Wirkung auf Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*)

Bei der Bekämpfung von Ackerschachtelhalm werden die oberirdischen Pflanzenteile schnell abgetötet, aber auch der Neuauflauf im Folgejahr wird stark vermindert (Abb. 6). Mit ausschließlich Glyphosat-haltigen Produkten kann hier keine ausreichende Bekämpfung erzielt werden. Dies stellt insbesondere bei der Unkrautbekämpfung auf Gleisanlagen ein großes Problem dar, wo der Schachtelhalm auf vielen Bahnstrecken bestandsbildend auftritt, und eine Ansammlung von Biomasse im Gleisbett aus Sicherheitsgründen vermieden werden muss.

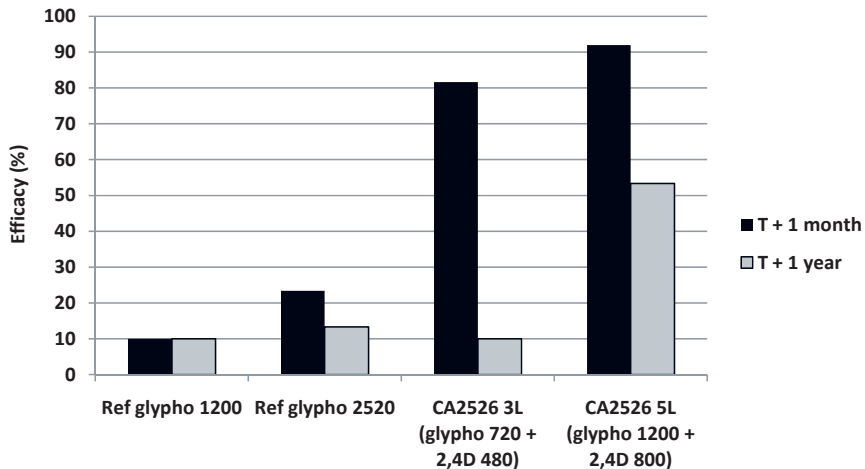


Abb. 6 Wirkung von Kyleo (l/ha) auf Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*), Ein Monat bzw. Ein Jahr nach der Behandlung.

Fig. 6 Efficacy of Kyleo (l/ha) on *Equisetum arvense* one month resp. one year after treatment.

3.3 Wirkung auf perennierende Ungräser

Wirkung auf Quecke (*Agropyron repens*)

Insbesondere die Bekämpfung der Quecke ist ein wichtiger Einsatzgrund für Glyphosat-haltige Produkte auf der Stoppel. Entscheidend dabei ist, dass der Wirkungsgrad von Glyphosat auf dieses Unkraut nicht durch den Zusatz von Wuchsstoffen reduziert wird. Der beim Einsatz der Tankmischung von Glyphosat und 2,4-D häufig beobachtete Antagonismus (O'SULLIVAN and O'DONOVAN, 1980) tritt bei der Fertigformulierung nicht auf; es werden bei gleichen Wirkstoffdosen identische Wirkungsgrade im Vergleich zum alleinigen Einsatz eines Glyphosat-haltigen Produktes erzielt (Abb. 7). Dies trifft sowohl auf die Behandlung in frühen Entwicklungsstadien der Quecke zu (BBCH 13-20), als auch bei weiter entwickelten Beständen (BBCH 30-40).

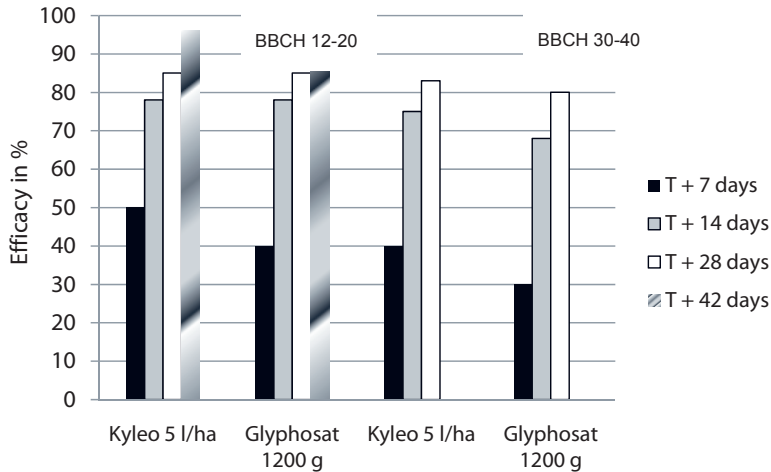


Abb. 7 Wirkung von Kyleo (l/ha) auf Quecke (*Agropyron repens*) in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium (links BBCH 13-20, rechts BBCH 30-40) zur Behandlung.

Fig. 7 Efficacy of Kyleo (l/ha) on *Agropyron repens* at different growth stages treated (left BBCH 13-20, right BBCH 30-40), assessed at different timings.

4. Diskussion

Mit Kyleo, der Fertigformulierung von 2,4-D und Glyphosat (160 + 240 g ai/l) ist es gelungen, zwei sich im Wirkungsspektrum ergänzende Wirkstoffe ohne den in der Tankmischung auftretenden Antagonismus in einem Breitbandherbizid zu kombinieren, das sich vor allem für den Einsatz auf der Stoppel eignet. Beim Einsatz gegen Ausfallraps konnte eine synergistische Wirkung der beiden Wirkstoffe in der Fertigformulierung nachgewiesen werden. Raps, Ausfallgetreide und Quecke werden sicher und mit größerer Wirkungsgeschwindigkeit erfasst, darüber hinaus wird die Wirkung auf perennierende Unkrautarten wie Ackerwinde, Ackerkratzdistel und Ackerschachtelhalm durch die Wirkstoffkombination gegenüber dem alleinigen Einsatz von Glyphosat verbessert. Dies ist neben der Stoppelbearbeitung auch beim Einsatz auf Nichtkulturland und auf Gleisen, im Obstbau und bei der Grünlanderneuerung von Vorteil, entsprechende Registrierungen werden daher angestrebt. Aus den Versuchen ergeben sich für die Empfehlung Aufwandmengen von 3-5 l/ha, je nach Zielorganismus. Für den Einsatz vor der Saat von Getreide und Mais wird eine Wartezeit von einem Tag angestrebt, vor Kartoffel, Zuckerrübe und Sonnenblume ist die Wartezeit bei einer Herbstanwendung nicht relevant, ein Einsatz direkt vor der Aussaat von Senf, Ölrettich, Raps und Gemüse ist nicht vorgesehen.

® Registrierte Marke der Nufarm Gruppe

®¹ Eingetragenes Warenzeichen der Monsanto Company

Literatur

O'SULLIVAN, P. AND J. O'DONOVAN, 1980: INTERACTION BETWEEN GLYPHOSATE AND VARIOUS HERBICIDES FOR BROADLEAVED WEED CONTROL. WEED RESEARCH **20**, 255-260.

Novitron® - A new wide-spectrum, pre-emergent herbicide solution for peas, beans and potatoes by FMC

Novitron® - Eine neue, breitwirksame Voraufbau-Herbizid-Lösung für Erbsen, Bohnen und Kartoffeln von FMC

David Hennens, Michel Sarazin, Dugald North* & Welf Brandes
FMC Chemicals sprl, Boulevard de la Plaine 9/3, 1050 Brussels, Belgium

*Corresponding author, dugald.north@fmc.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.065

Summary

This report provides a summary of 59 efficacy and selectivity trials undertaken during the development of a new wide-spectrum, pre-emergent herbicide solution for peas, beans and potatoes. The trials were specifically designed to determine if the formulation could be used safely on the target crops as well as to analyze the spectrum of weed species controlled with this formulation.

The results from these trials have shown that Novitron is safe to apply as a pre-emergent herbicide on the target crops. The results have also shown that the product has excellent efficacy against the majority of weed species commonly found in the target crops.

Keywords: Aclonifen, clomazone, crop selectivity, efficacy, pre-emergent herbicide, weed spectrum

Zusammenfassung

Dieser Bericht stellt eine Zusammenfassung von 59 Versuchen zur Wirksamkeit und Selektivität dar, die im Zuge der Entwicklung einer neuen breitwirksamen Voraufbau Herbizid-Lösung für Erbsen, Bohnen und Kartoffeln durchgeführt wurden. Die Versuche wurden speziell entwickelt, um festzustellen, ob die Formulierung sicher für die Zielkulturen ist sowie zur Analyse des Spektrums der Unkrautarten die mit dieser Formulierung kontrolliert werden.

Die Ergebnisse aus diesen Studien haben gezeigt, dass Novitron als Voraufbauherbizid sicher in den Zielkulturen eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass das Produkt eine hervorragende Wirksamkeit gegen die Mehrheit der Unkrautarten zeigt, die üblicherweise in den Kulturen gefunden werden.

Stichwörter: Aclonifen, Clomazone, Selektivität bei Kulturarten, Unkrautspektrum, Voraufbau-Herbizid, Wirksamkeit

1. Introduction

The objective of this report is to provide an overview of results obtained in a series of efficacy and selectivity trials undertaken during the development of the new pre-emergent herbicide Novitron. Novitron is a premixture of the herbicidal active ingredients, clomazone (30 g a.i./l) plus aclonifen (500 g a.i./l). The formulation is a water dispersible granule (WG) which is rapidly dissolved and dispersed when mixed with water.

All together, the trials cover the four requested professional applications in terms of the pre-emergence control of mono- and dicotyledonous weeds at the intended dose rate of 2.4 kg/ha used in cultivations of field beans, field peas (combining peas) / garden peas (vining peas) and potatoes.

All trials were located in areas representative of those where the respective crops are grown commonly. The trials covered a broad range of various soil and weather conditions consistent with the EPPO Standard PP 1/241 (Guidance on comparable climates). All countries and regions where trials were executed belong to the same EPPO region of comparable climate (maritime climate). Therefore, the results obtained from the different countries and regions are considered as comparable in terms of climatic conditions. Furthermore, the agronomic circumstances as well as the contemplable spectra of weeds commonly occurring in the respective crops are also considered as largely comparable for the above mentioned countries and regions. It is proposed that the Novitron formulation will have the following classifications according to the following Risk and Safety phrases:

- Dangerous for the environment (N)
- Irritant (Xi)
- Irritating to skin (R38)
- Very toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects (R50/53)
- Keep out of reach of children (S2)
- Keep away from food, drink and animal feeding stuffs (S13)
- When using do not eat, drink or smoke (S20/21)
- Avoid contact with skin (S24)
- To avoid contamination of the environment using appropriate container (S57)
- To avoid risks to human health and the environment, the instructions for use (SP001)

Due to Novitron's highly efficacious activity on a wide spectrum of weed species, detailed advice on the label of Novitron are required to safeguard against any off-target effects which may occur during application of the product. The wording of such advice should also focus on the avoidance of adverse effects on adjacent crops including other plants. Therefore, the following label recommendations are proposed for Novitron:

- To minimize the risk of unintended contaminations of adjacent crops and plants as well as non-target areas during the application, strict attention is to be paid to drift avoidance because of possible phytotoxic effects on adjacent growing sensitive plant species.
- On areas Novitron is used, appropriate intervals are to be observed to adjacent cropping areas in accordance with national requirements.
- The use of nozzle types classified as drift-reducing is strictly recommended.
- The product is to be applied in a water volume of not less than 200 l/ha.
- The product is not to be used under temperature conditions of ≥ 25 °C.
- Application is not to be made on dry cloddy seedbeds, or if a prolonged dry period is to be expected after the use of Novitron.

2. Materials and methods

The evaluation on efficacy and selectivity of Novitron is based on data issued from a total of 59 efficacy trials and 33 specially designed selectivity trials (1N vs. 2N) conducted during the years 2009 and 2010 in the EU countries Belgium (BE), Germany (DE), France (FR), the Netherlands (NL) and the United Kingdom (UK).

2.1 Efficacy Trials

The design of the trials was undertaken in accordance with the following format:

Design	Randomised complete block
Untreated	Included in the blocks. Sufficient untreated area between the plots.
Replicates	4
Net plot size	Minimum 20 m ² and minimum 2 m width

According to the intended uses for Novitron (Tab. 1), the efficacy trials were undertaken to simulate the following Good Agricultural Practices (GAP):

Tab. 1 Proposed GAP for Novitron.

Tab. 1 *Vorgeschlagene GAP für Novitron.*

Agronomic practise	Novitron GAP
Area of use	Agriculture
Area of application	Field
Crop and/or situation	Field beans (VICFM) - Combining field beans; spring varieties
	Field peas (PIBSA) - Combining field peas; spring varieties
	Potatoes (SOLTU) - ware and consumer potatoes; seed potatoes

Agronomic practise	Novitron GAP
Pests / Group of pests	Mono- and dicotyledonous weeds
Time of application	Pre-emergence of crop and weeds
Max. number of applications / year / crop	1
Application method	Spraying, broadcast; no soil cultivation after application
Dose rate of product	2,4 kg/ha
Water volume	200-400 l/ha

Timing of efficacy evaluations undertaken on the various weed species present in the individual trials were undertaken four times during the efficacy trials. The timings were as follows:

1. After the formation of the first true leaf pair of the crop
2. Four weeks after application.
3. Before crop covering the soil
4. At maturity of the crop

During the assessment, the population of the weeds in the plots were recorded and compared to the untreated plots to provide the calculated efficacy value of each treatment.

2.2 Selectivity Trials

2.2.1 Phytotoxicity

For all trials evaluating phytotoxicity on peas, beans and potatoes, Novitron was applied pre-emergence of the crop at 1N (2.4 kg) and 2N (4.8 kg) rates. Assessments on phytotoxicity were carried out at several times after application and comprised mainly parameters as number of plants, chlorotic and/or bleaching effects, crop vigour, growth reduction (stunting), and thinning. In some cases additional assessments were carried out on necrosis and on delay of emergence. Depending on the parameter to be rated, assessments were done either by counting plants on defined areas per plot, or by estimation of the occurring effect on a whole plot basis in comparison to the corresponding untreated control plot. Countings were reported as absolute values while estimated effects were reported either as percentage values based on the incidence and severity of the rated effect, or as index values according to a 0-10 or 1-10 scale with 0/1 = all plants affected, all plants dead, and 10 = no visible effect, all plants in good condition.

2.2.2 Yield

Spring field peas and beans: In terms of quality parameters for all treatments of each selectivity trial, the thousand grain weight (TGW) was assessed at harvest. For the data evaluation the reported absolute values were converted for each treatment into percentage relative to the untreated control (UTC) to get a basis of comparison without the influence of the tested cultivars.

Potatoes: For each treatment in the selectivity trials, plots were harvested at maturity to establish the respective yields in metric tonnes/hectare. For the data evaluation, the absolute values were reported were converted from mT/ha into percentage relative to the UTC to get a basis of comparison without the influence of the tested cultivars.

3. Results

3.1 Efficacy

3.1.1 Peas and beans

As result of the evaluation and based on the efficacy data rated for the individual weed species at the mean time of approximately 10-11 weeks after application, the following efficacy classification could be derived from the pooled evaluation of weeds in peas and beans.

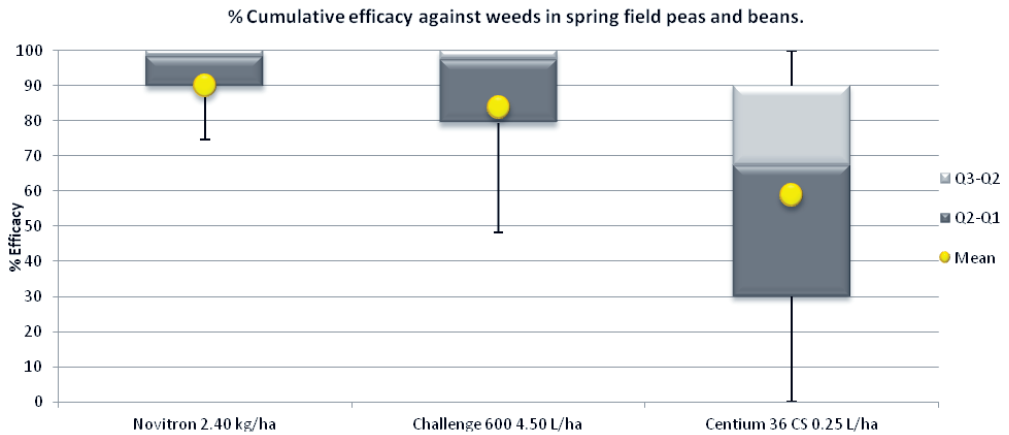
Tab. 2 Summarised efficacy results of Novitron on various weed species in spring field peas and spring field beans.

Tab. 2 Zusammengefasste Ergebnisse zur Wirksamkeit von Novitron auf verschiedenen Unkrautarten im Frühjahr in Futtererbsen und Ackerbohnen.

Efficacy rating (% mean control)	EPPO codes for weeds encountered in efficacy trials				
Excellent (98,0 – 100 %)	BRSNW*	CAPBP	LAMPU	MATIN	MATSS
	MYOAR	PAPRH	POLLA	POLSS	RAPRA
	SINAR	SONAR	THLAR	VERAR	VERPE
Good (95,0 - 97,9 %)	MATCH	POLPE	SENVU	STEME	
	AETCY	ALOMY	ATXPA	AVEFA	BEAVA*
Sufficient (80,0 - 94,9 %)	BRSNN *	CHEAL	GALAP	LOLMG	MERAN
	POAAN	POLAV	POLCO	SOLNI	VERHE
	VIOAR	VIOTR			
Insufficient (< 80,0 %)	ARTVU	FUMOF	LOLPE	RORSY	

*volunteer crops

For the vast majority of all weed species taken into account, Novitron provided a sufficient to excellent control level (80 %-100 %). Therefore, Novitron can be considered as suitable to ensure an effective and reliable weed control in field bean and pea crops (combining and canning peas) if the product is applied one-time at the dose of 2.4 kg/ha in spring.



	Novitron 2.40 kg/ha	Challenge 600 4.50 l/ha	Centium 36 CS 0.25 l/ha
Min	0	0	0
25th	89,8	79,3	30,0
Median	98,1	97,5	67,5
75th	100,0	100,0	90,0
Max	100,0	100,0	100,0
Mean	90,0	83,7	58,7
SD	19,0	25,5	34,0
N	156	156	96

Fig. 1 Cumulated efficacy results of Novitron against all weeds in spring field peas and spring field beans.

Fig. 1 Kumulierte Ergebnisse zur Wirksamkeit von Novitron gegen alle Unkräuter im Frühjahr in Futtererbsen und Ackerbohnen.

3.1.2 Potatoes

Because the agricultural conditions for potato growing and the usually occurring spectrum of weed species may be different to some extent in comparison to situations in field bean and pea crops, the efficacy data obtained from field trials executed in potato crops were separately evaluated.

Derived from the efficacy data rated for the individual weed species at the mean time of approximately eight weeks after application, the following efficacy classification resulted from the evaluation:

Tab. 3 Summarized efficacy results of Novitron on various weed species in spring potatoes.

Tab. 3 Zusammengefasste Ergebnisse zur Wirksamkeit von Novitron auf verschiedenen Unkrautarten im Frühjahr in Kartoffeln.

Efficacy rating (% mean control)	EPPO codes for weeds encountered in efficacy trials				
Excellent (98,0 – 100 %)	AMARE	BRSNW*	CAPBP	CHEAL	CONAR
	DATST	EPHHE	FUMOF	GALAP	MATCH
	MERAN	POAAN	POLAV	POLCO	POLPE
	SENVU	SINAR	STEME	VIOAR	
Good (95,0 - 97,9 %)	SOLNI				
Sufficient (80,0 - 94,9 %)	ACETY	DIGSA	LAMPU	ECHCG	

* volunteer crops

Therefore, against all weed species taken into account, excellent control ($\geq 98.0\%$) was achieved against the vast majority of weed species. Therefore, Novitron can be said to be suitable to ensure an effective and reliable weed control in potato cultivations if the product is applied one-time at the dose of 2.4 kg/ha in advanced spring.

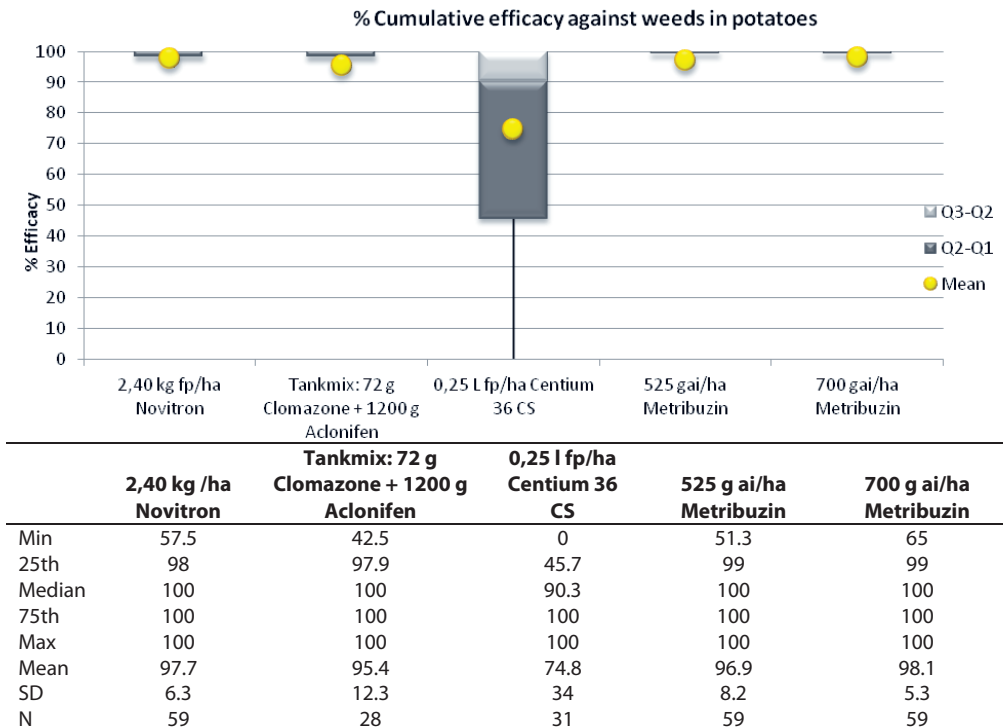


Fig. 2 Cumulated efficacy results of Novitron against all weeds in potatoes.

Fig. 2 Kumulierte Ergebnisse zur Wirksamkeit von Novitron gegen alle Unkräuter in Kartoffeln.

3.2 Crop Safety

3.2.1 Spring field peas and beans

In view of phytotoxicity to the host crop findings, Novitron can be considered to be safe to the respective crops to a large extent if the product is used according to the use specifications. Phytotoxic responses as bleaching effects, slight reduction of crop vigour of growth can occur from time to time if the product is used under certain conditions on the intended crops. Those effects normally are transient and grow out during the course of the vegetation period without leaving severe or lasting damages on the crop and without any adverse effects on the quantity or quality of yield.

As the result of the evaluation, only in a very few cases phytotoxic responses on crops were observed for the target treatment of Novitron, mostly evident as bleaching effects. In the double target rate of 4.8 kg/ha variant, phytotoxic effects had occurred slightly more, but all in all the incidence over all efficacy and selectivity was absolutely within passable limits as well for the higher dosed treatments. The observed effects were transient in all cases and have grown out during the course of the vegetation period without leaving severe or lasting damages on the crop and without any adverse effects on the quantity or quality of yield.

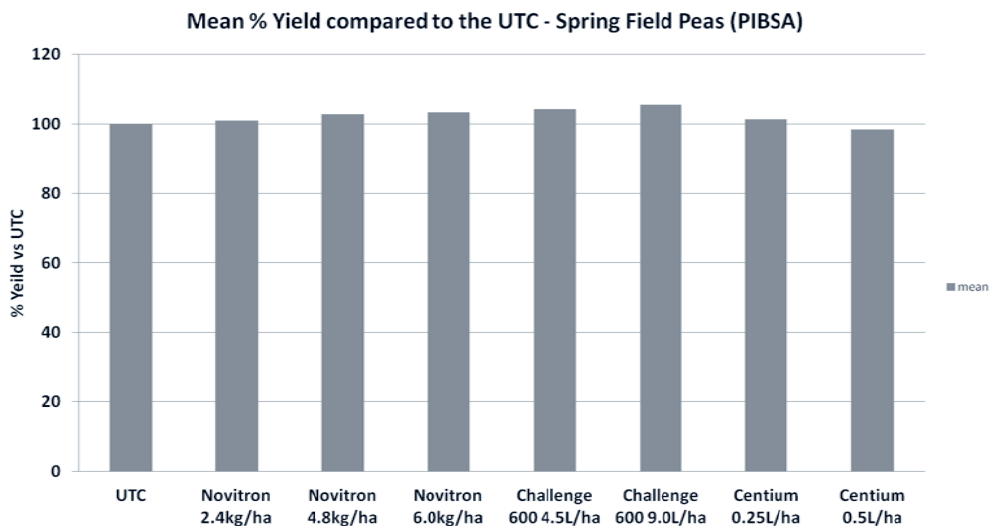


Fig. 3 Mean % yield of spring field peas compared to untreated control.

Fig. 3 Mittlerer % Ertrag von Erbsen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

For spring field peas, Novitron applied up to a dose of 6.0 kg/ha pre-emergence on PIBSA can be said to have no impact on the yield. In some cases where phytotoxic effects were observed after crop emergence, they were transient and had no influence on the assessed yield quality parameters.

It is reasonable to say that there was no impact apparent on the yield of spring field beans after one pre-emergence application of Novitron. In some cases where phytotoxic effects were observed after crop emergence, they were transient and had no influence on the assessed yield quality parameters. So, from the yield quality point of view the product can be considered as safe for VICFM crops. The results show that Novitron applied up to a dose of 6.0 kg/ha pre-emergence of crop has no impact on the mentioned parameters of yield quantity and quality. In terms of yield, the product therefore can be considered as safe.

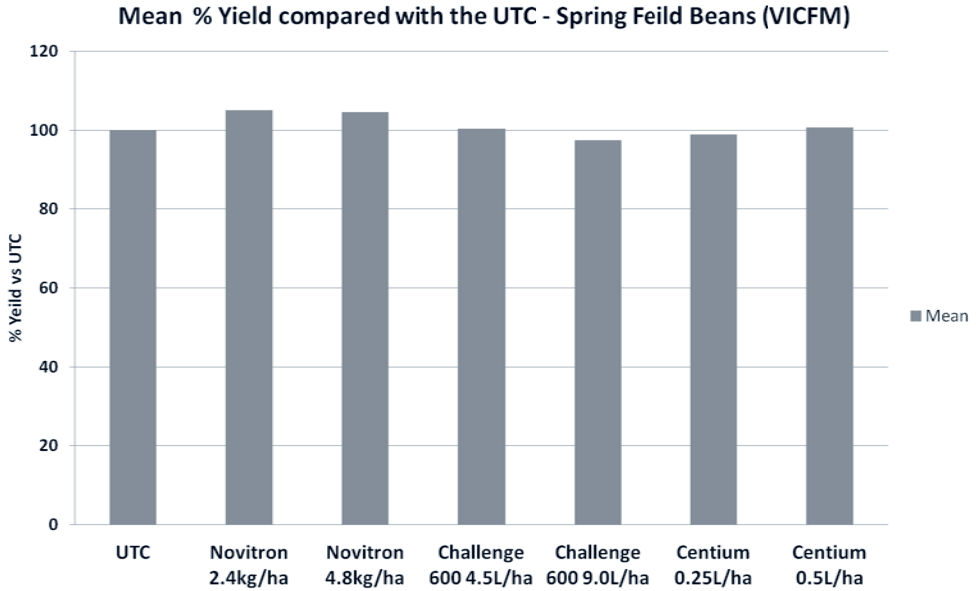


Fig. 4 Mean % yield of spring field beans compared to untreated control.

Fig. 4 Mittlerer % Ertrag von Sommer-Ackerbohnen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

3.2.2 Potatoes

All in all, the incidence of phytotoxic responses over all efficacy and selectivity trials can be said to be low on the tested potato crops and absolutely within acceptable limits for herbicide treatments. In most cases, any signs of pytoxicity were transient and have grown out during the course of the vegetation period without leaving severe or lasting damages on the crop and without any adverse effects on the quantity or quality of yield.

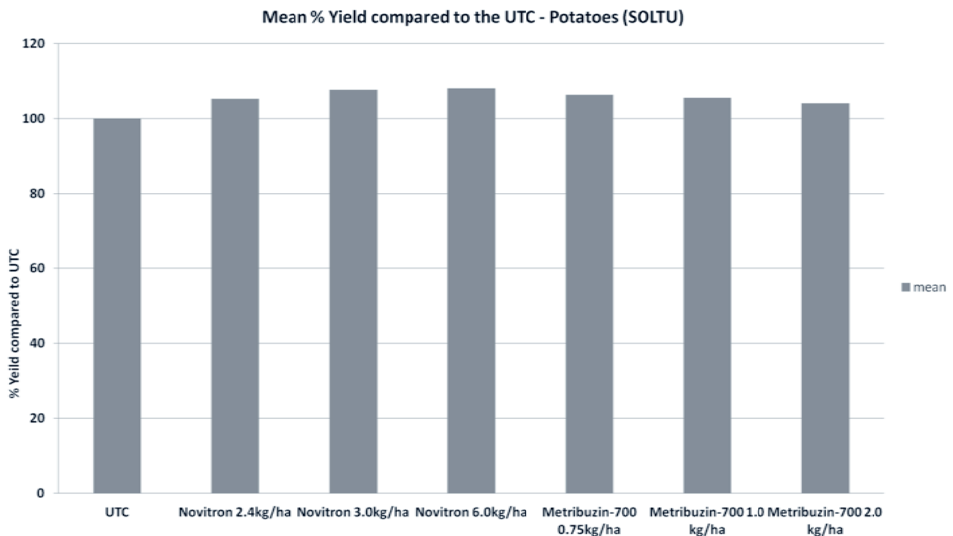


Fig. 5 Mean % yield of potatoes compared to untreated control.

Fig. 5 Mittlerer % Ertrag von Kartoffeln im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

Novitron applied up to a dose of 6.0 kg/ha pre-emergence can be said to be safe for potato crops and has absolutely no impact on yield quality parameters as tuber size and starch content.

4. Discussion

In conclusion, from the results of the trials undertaken, it is clear that Novitron can provide excellent pre-emergent weed control against a wide-spectrum of weed species. The trial results have also proven that Novitron is safe to apply in spring field peas, spring field beans and potatoes when used in accordance with label instructions at an application rate of 2.4 kg/ha. This series of trials has also proven that the formulation provides similar efficacy across a wide range of soil types within the maritime climatic zone of Europe.

References

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION (EPPO), 2005: EPPO STANDARD PP 1/241. GUIDANCE ON COMPARABLE CLIMATES.

Betanal[®] maxxPro[®] – ein neues Herbizid zur Bekämpfung von einjährigen breitblättrigen Unkräutern in Zuckerrüben

Betanal[®] maxxPro[®] – a new herbicide to control annual broadleaf weeds in sugar beets

Martin Wegener* & Josef Johnen

Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Str. 4a, D-40764 Langenfeld

*Korrespondierender Autor, martin.wegener@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.066

Zusammenfassung

Betanal maxxPro ist ein neues Herbizid zur Bekämpfung von einjährigen breitblättrigen Unkräutern in Rüben. Das Produkt enthält die Wirkstoffe Desmedipham (47 g/l), Ethofumesat (75 g/l), Phenmedipham (60 g/l) und Lenacil (27 g/l) und ist als ölige Dispersion (OD) formuliert. Dabei wurde ein neues patentiertes Formulierungskonzept verwendet. Die zugelassene Aufwandmenge liegt bei 1,5 l/ha. Das Produkt darf maximal dreimal pro Vegetationsperiode eingesetzt werden und zwar im Keimblattstadium bis 2-Blattstadium der Unkräuter. In den Feldversuchen wurde ein breites Wirkungsspektrum beobachtet. Im Vergleich zum Standard wurden Verbesserungen in der Wirkung gegenüber Arten wie z. B. *Aethusa cynapium*, *Matricaria chamomilla*, *Brassica*-Arten, *Mercurialis annua*, *Chenopodium*-Arten, *Polygonum*-Arten erreicht. Die Selektivität liegt auf dem Niveau des derzeitigen Standards Betanal Expert.

Stichwörter: Desmedipham, Ethofumesat, Formulierung, Lenacil, Phenmedipham

Summary

Betanal maxxPro is a new herbicide to control annual broadleaf weeds in beets. The product contains desmedipham (47 g/l), ethofumesate (75 g/l), phenmedipham (60 g/l) and lenacil (27 g/l). It is formulated as an OD. For the product a new patented formulation concept was used. The registered dose rate is 1.5 l/ha. The product can be applied three times between the cotyledonous stage and the two leaf stage of the weeds. A broad spectrum of efficacy was observed in the trials. In comparison to the present standard, the efficacy was improved against *Aethusa cynapium*, *Matricaria chamomilla*, *Brassica* species, *Mercurialis annua*, *Chenopodium* species, *Polygonum* species and others. The selectivity of the product is comparable to Betanal expert.

Keywords: Desmedipham, ethofumesate, formulation, lenacil, phenmedipham

1. Einleitung

Zuckerrüben nehmen in den ackerbaulichen Fruchtfolgen eine wichtige Stellung ein. Zum einen gelten sie als Gesundheitsfrucht um getreidelastige Fruchtfolgen aufzulockern. Zum anderen erzielen sie auch weiterhin eine hohe Wertschöpfung für den Landwirt. Neben der Verwendung für die Zuckergewinnung ergeben sich durch den Einsatz in Biogas-Anlagen neue Verwertungsmöglichkeiten. Daher kann davon ausgegangen werden, dass sich die Anbaufläche in Deutschland auch in den nächsten Jahren auf einem stabilen Niveau von ca. 400.000 ha bewegen wird.

Aufgrund der geringen Bodenbedeckung bis zum Reihenschluss kommt es in der Jugendphase der Zuckerrüben bekanntermaßen zu einer starken Unkrautkonkurrenz, die auf mechanischem oder auf chemischen Weg beseitigt werden muss. Seit der Einführung im Jahr 1990 gehört der Einsatz von Produkten mit der Wirkstoffkombination Desmedipham + Ethofumesat + Phenmedipham (Betanal-Produktreihe) zu den Standardmaßnahmen bei der Unkrautbekämpfung. Im Rahmen einer konsequenten Verbesserung der Formulierungen wurde das Produkt Betanal maxxPro entwickelt. Nachfolgend werden anhand von Versuchsergebnissen die Besonderheiten des neuen Produktes dargestellt.

2. Material und Methoden

Die Ergebnisse, die präsentiert werden, wurden während der Jahre 2006-2009 in 146 Feldversuchen in Nord-Europa erarbeitet. Die Versuche wurden in Deutschland (n = 57), im maritimen Teil von Frankreich (n = 54), in Großbritannien (n = 21), in den Niederlanden (n = 8) und in Österreich (n = 7) angelegt. Die Anlage erfolgte gemäß der GEP-Grundsätze und auf der Grundlage der entsprechenden

EPPO- bzw. CEB- (Frankreich) Richtlinien zur Beurteilung der biologischen Wirkung und Selektivität von Herbiziden. Die Versuche wurden dabei entweder auf Praxisflächen oder auf Flächen der Bayer-Versuchsstationen in Form einer randomisierten Blockanlage mit 3-4 Wiederholungen sowie einer Parzellengröße von 20 m² angelegt. Insgesamt wurden drei Applikationen pro Vegetationsperiode durchgeführt. Die Behandlungen erfolgten mit einem Parzellenspritzgerät zum Zeitpunkt des Keimblattstadiums der Unkräuter. Für die abschließende Bewertung der Unkrautwirkung wurde die Bonitur 8-14 Tage nach der letzten Applikation herangezogen.

2.1 Produktprofil Betanal maxxPro

- Wirkstoffzusammensetzung:
- Desmedipham: 47 g/l
- Ethofumesate: 75 g/l
- Phenmedipham: 60 g/l
- Lenacil: 27 g/l
- Formulierung: ölige Dispersion (OD)
- Aufwandmenge: 1,5 l/ha
- Anzahl Anwendungen: max. 3 pro Vegetationsperiode
- Kulturen: Futter- und Zuckerrüben

2.2 Wirkstoffklassifizierung

Tab. 1 Klassifizierung der Wirkstoffe von Betanal maxxPro.

Tab. 1 Classification of the active ingredients of Betanal maxxPro.

Wirkstoff	Chemische Klasse	Wirkungsmechanismus	HRAC Gruppe
Desmedipham	Phenyl-Carbamate	Hemmung Photosystem II	C1
Ethofumesat	Benzofurane	Hemmung Lipidsynthese	N
Phenmedipham	Phenyl-Carbamate	Hemmung Photosystem II	C1
Lenacil	Uracile	Keine herbizide Wirkung in der applizierten Aufwandmenge	Nicht relevant

2.3 Chemisch und physikalische Eigenschaften Betanal maxxPro

- Zustand: flüssig
- Farbe: weiß – beige
- Geruch: charakteristisch
- pH Wert: 2,0 – 4,0

2.4 Toxikologische und ökotoxikologische Eigenschaften Betanal maxxPro

- Ratte LD₅₀ Oral: >5000 mg/kg
- Ratte LD₅₀ Dermal: >2000 mg/kg
- Ratte LC₅₀ Inhalation: > 2,6 mg/l
- Hautreizung: keine (Kaninchen)
- Augenreizung: sensibilisierend (Maus)
- Forelle (*O. mykiss*) LC₅₀: 10,2 mg/l
- Daphnien EC₅₀: 6,9 mg/l
- Grünalgen (*P. subcapitata*) EC₅₀: 0,496 mg/l
- Wasserlinse (*L. gibba*) EC₅₀: 0,797 mg/l
- Bienen LD₅₀ akut Oral: >200 µg/Biene
- Bienen LD₅₀ akut Kontakt: 104,7 µg/Biene

3. Ergebnisse

3.1 Effekte des neuen Formulierungskonzeptes

Betanal maxxPro wurde mit einem neuen patentierten Formulierungskonzept ausgestattet. Durch den Einsatz von geringen Mengen des Wirkstoffes Lenacil wird zum einen das Eindringen der Wirkstoffe Phenmedipham und Ethofumesat beschleunigt (Abb. 1).

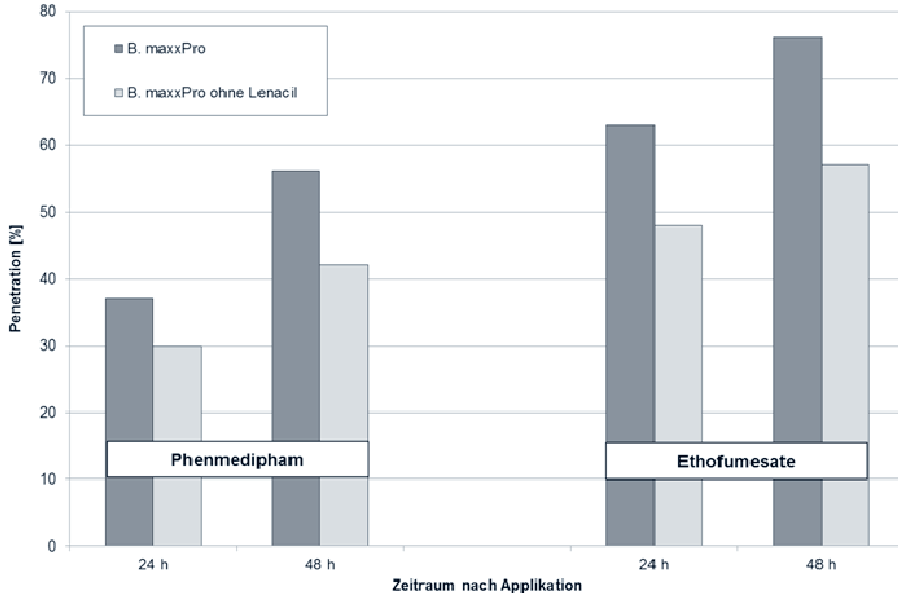


Abb. 1 Einfluss von Lenacil auf das Eindringverhalten von Phenmedipham und Ethofumesat in zwei Wochen alte Rapsblätter (Dr. R. SÜSSMANN, 2010, unveröffentlicht).

Fig. 1 Influence of Lenacil on the uptake of ethofumesate and phenmedipham in two weeks old oilseed rape leaves (Dr. R. SÜSSMANN, 2010, not published).

Außerdem wird der Kalium-Stoffwechsel der Unkrautpflanzen negativ beeinflusst. Lenacil verursacht einen erhöhten K^+ -Ionen Flux in die Schließzellen der Stomata, da die Durchlässigkeit der Plasmalemma-Membran verändert wird (BLEIN und SCALLA, 1984). Dies führt dazu, dass sich die Stomata öffnen und auch geöffnet bleiben. In Verbindung mit den beiden Wirkstoffen Phenmedipham und Desmedipham, welche die Elektronen Transport Kette in der Thylakoidmembran der Chloroplasten beim Photosystem II hemmen, kommt es zu einer schnelleren und stärkeren Ausprägung von Nekrosen (Abb. 2).

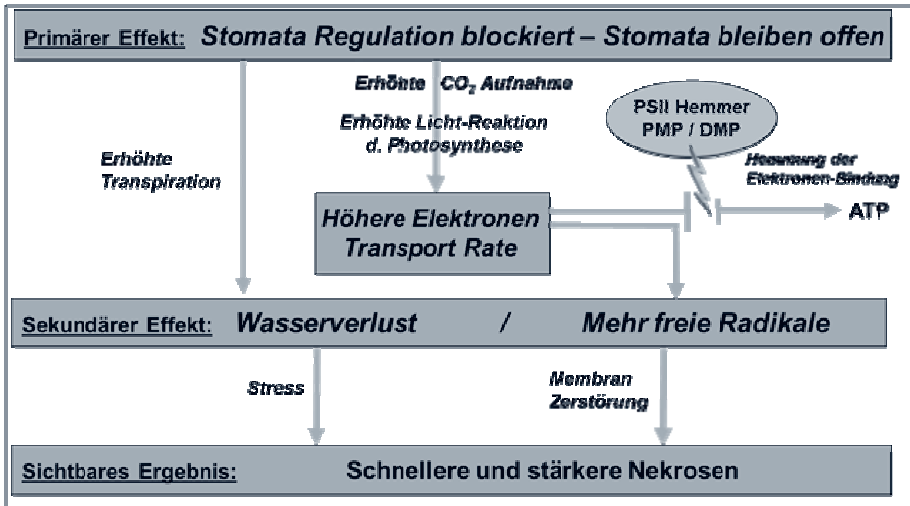


Abb. 2 Erklärungsansatz zu den Auswirkungen der Störung der Stomata-Regulation in Unkrautpflanzen nach der Applikation von Betanal maxxPro (Dr. U. BICKERS, 2009, mündl. Mitteilungen).

Fig. 2 Hypothesis of the herbicidal effects in weed plants caused by the disruption of the stomata regulation after the application of Betanal maxxPro (Dr. U. BICKERS, 2009, oral communication).

3.2 Biologische Wirkung

In den 146 Versuchen zur biologischen Wirkung von Betanal maxxPro traten drei Ungras-Arten und 50 verschiedene Unkraut-Arten auf. Die Stetigkeit der verschiedenen Arten ist in Tabelle 2 dargestellt.

Die Auswertung der Wirksamkeitsbonituren zeigte, dass Betanal maxxPro über ein sehr breites Wirkungsspektrum verfügt (Abb. 3). Eine gute bis sehr gute Wirkung ließ sich bei 75 % der Arten beobachten, wobei bei 58 % eine Wirkung > 95 % erreicht wurde. Hierzu gehören, unter anderem, die Gänsefuß-/Melde-Arten (*Chenopodium album*, *C. polyspermum*, *Atriplex patula*), verschiedene Kreuzblütler (*Thlaspi arvense*, *Brassica* spp., *Capsella bursa-pastoris*), Taubnessel-Arten (*Lamium purpureum* und *L. amplexicaule*), Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*), Geruchlose Kamille (*Matricaria inodora*), Kletten-Labkraut (*Galium aparine*), Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*), Vogel-Sternmiere (*Stellaria media*) und verschiedene andere Arten. Gegenüber Echter Kamille (*Matricaria chamomilla*), Vogelknöterich (*Polygonum aviculare*) oder Hundspetersilie (*Aethusa cynapium*) wird eine gute Basiswirkung erzielt, die, je nach Art, nahe 90 % Wirkung liegen kann.

Tab. 2 Stetigkeit der verschiedenen Unkrautarten, 146 Versuche 2006-2010, maritime EPPO-Zone.

Tab. 2 Frequency of the observed weeds, 146 trials 2006-2010, maritime EPPO zone.

Art	Stetigkeit [%]	Art	Stetigkeit [%]
<i>Chenopodium album</i>	45	<i>Senecio vulgaris</i>	2
<i>Polygonum convolvulus</i>	18	<i>Mercurialis annua</i>	5
<i>Matricaria chamomilla</i>	16	<i>Amaranthus retroflexus</i>	5
<i>Galium aparine</i>	16	<i>Alopecurus myosuroides</i>	1
<i>Polygonum aviculare</i>	14	<i>Amaranthus powellii</i>	1
<i>Polygonum persicaria</i>	13	<i>Anagallis arvensis</i>	1
<i>Solanum nigrum</i>	12	<i>Calystegia sepium</i>	1
<i>Stellaria media</i>	12	<i>Carduus acanthoides</i>	1
<i>Viola arvensis</i>	11	<i>Centaurea cyanus</i>	1
<i>Lamium purpureum</i>	10	<i>Chenopodium ficifolium</i>	1
<i>Atriplex patula</i>	10	<i>Chenopodium hybridum</i>	1
<i>Thlaspi arvense</i>	8	<i>Convolvulus arvensis</i>	1
<i>Brassica spec.</i>	7	<i>Equisetum arvense</i>	1
<i>Echinochloa crus-galli</i>	5	<i>Galeopsis ladanum</i>	1
<i>Fumaria officinalis</i>	5	<i>Geranium dissectum</i>	1
<i>Mercurialis annua</i>	5	<i>Matricaria matricarioides</i>	1
<i>Amaranthus retroflexus</i>	5	<i>Papaver rhoeas</i>	1
<i>Chenopodium polyspermum</i>	4	<i>Papaver somniferum</i>	1
<i>Aethusa cynapium</i>	4	<i>Poa nemoralis</i>	1
<i>Urtica urens</i>	4	<i>Polygonum lapathifolium</i>	1
<i>Matricaria inodora</i>	3	<i>Raphanus raphanistrum</i>	1
<i>Lamium amplexicaule</i>	3	<i>Reseda lutea</i>	1
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	3	<i>Senecio jacobaea</i>	1
<i>Myosotis arvensis</i>	3	<i>Sinapis arvensis</i>	1
<i>Veronica persica</i>	3	<i>Sisymbrium officinale</i>	1
<i>Bidens tripartita</i>	2	<i>Veronica agrestis</i>	1
<i>Cirsium arvense</i>	2		
<i>Sonchus arvensis</i>	2		

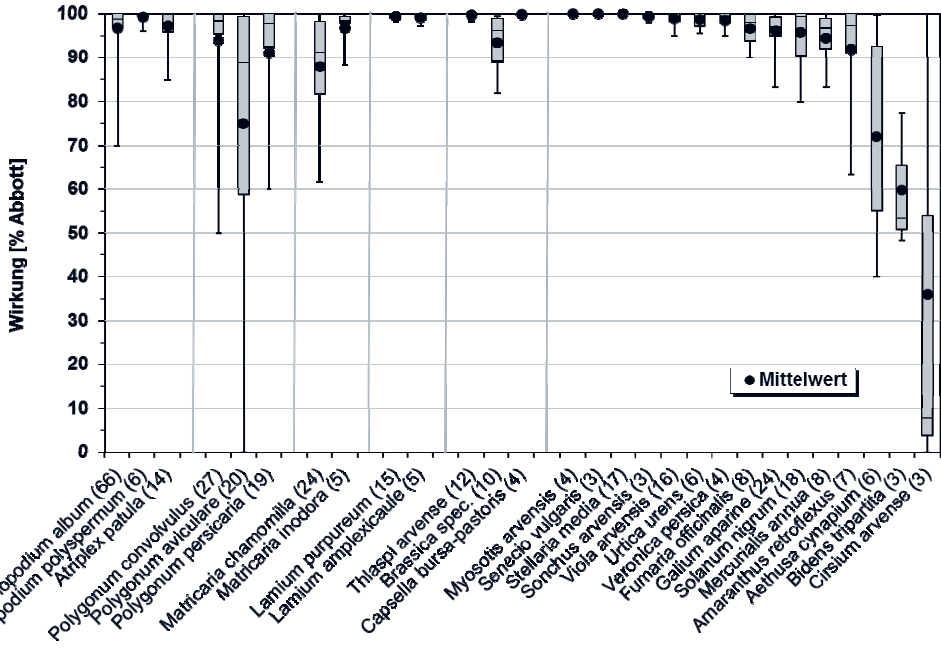


Abb. 3 Wirkungsspektrum von 1,5 l/ha Betanal maxxPro nach dreimaliger Anwendung als Box-Whisker Darstellung, 146 Versuche maritime EPP0 Klimazone 2006-2010. Die Whisker stellen die Streuung der Wirkung dar, der waagerechte Strich den Median. Zahlen in Klammern geben die Häufigkeit des Auftretens der Unkräuter an.

Fig. 3 Efficacy spectrum of 1.5 l/ha Betanal maxxPro (triple application) as a box-whisker plot. The whiskers represent the variation of the efficacy; the horizontal line represents the median. Numbers in brackets indicate the frequency of the weeds.

3.3 Selektivität bei zugelassener Aufwandmenge

In den bereits beschriebenen 146 Wirkungsversuchen zeigte Betanal maxxPro eine sehr gute Verträglichkeit. Die max. durchschnittliche Schädigung lag bei 6 %. Aufgetretene Symptome wie Blattauffhellungen oder Wuchsdepressionen wuchsen sich innerhalb kurzer Zeit wieder aus. Auf 46 % der Standorte traten keine Symptome > 5 % auf.

Im Vergleich zum derzeitigen internen Standard Betanal Expert wurde keine Erhöhung der Phytotoxizität beobachtet.

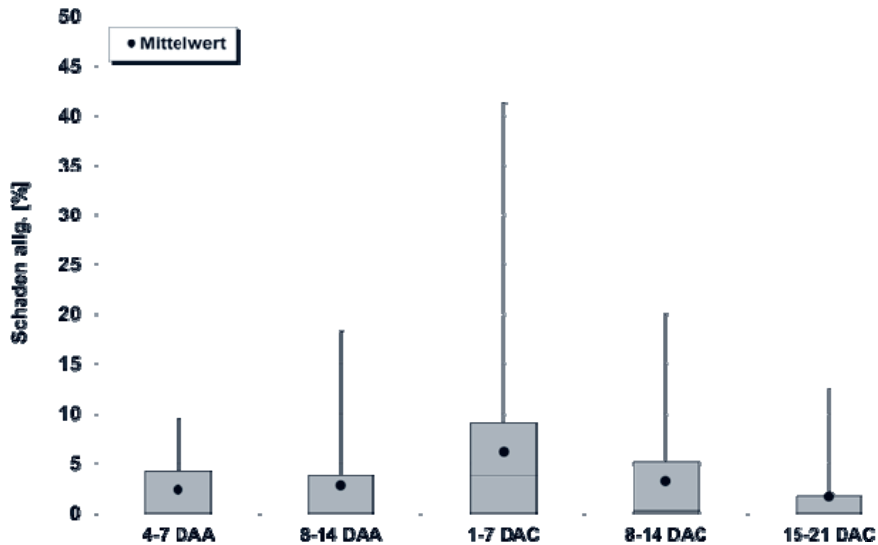


Abb. 4 Selektivität von 1,5 L/ha Betanal maxxPro nach dreimaliger Anwendung als Box-Whisker Darstellung, 146 Versuche maritime EPPO Klimazone 2006-2010. Die Whisker stellen die Streuung der Wirkung dar, der waagerechte Strich den Median. DAA = Tage nach 1. Applikation, DAC = Tage nach letzter Applikation.

Fig. 4 Selectivity of 1.5 l/ha Betanal maxxPro (triple application) as a box-whisker plot. The whiskers represent the variation of the efficacy; the horizontal line represents the median. DAA = days after first application, DAC = days after last application.

4. Diskussion

Betanal maxxPro ist die Weiterentwicklung der bewährten Wirkstoffkombination Desmedipham + Ethofumesat + Phenmedipham. Durch ein neues Aktivierungs- und -Formulierungskonzept ist es gelungen, die Effektivität der Wirkstoffe zu verbessern. Im Vergleich zum gegenwärtigen Standard Betanal Expert konnte dadurch die Gesamtwirkstoffmenge/ Applikation/ha um ca. 15 % reduziert werden. Hierbei wurde der Wirkstoff Ethofumesat, welcher bei der Annex 1-Listung in der Menge/ha begrenzt wurde, um ca. 40 %/ha verringert. Der Gehalt an Desmedipham wurde im Gegenzug um ca. 55 %/ha erhöht. Die Ergebnisse der präsentierten Feldversuche zeigten, dass die Wirkstoffreduktion keine Verringerung der biologischen Wirkung zur Folge hatte. Es wurden bei einer Reihe von Unkräutern sogar Verbesserungen in der Wirkung erreicht wie z. B. Hundspetersilie, Echte Kamille, Ausfallraps, Bingelkraut, Gänsefuß-Arten, Knöterich-Arten. Um eine vollständige Wirkung bei Unkräutern zu erreichen, bei denen der Wirkungsgrad unter ca. 93 % liegt, bieten sich Tankmischungen mit anderen Spezialprodukten an. Insgesamt erhöht sich aber die Wirkungssicherheit der praxisüblichen Tankmischungen, besonders unter Bedingungen, bei denen eine starke Blattaktivität nötig ist.

Der Wirkstoff Lenacil, welcher im Betanal maxxPro mit einer max. Menge von 40,5 g/ha ausgebracht wird, zeigt in dieser Konzentration alleine keine herbizide Wirkung. Der beobachtete Effekt auf den Stomata-Haushalt der Unkräuter kommt erst in Kombination mit den Photosystem II-Hemmern Desmedipham und Phenmedipham zum Tragen, da sich die drei Wirkstoffe in ihrer Wirkung ideal ergänzen.

Weitere Merkmale, die die verbesserte Effektivität der Wirkstoffe unterstützen, sind eine Verbesserung der Ausbreitung der Spritzbrühe auf der Blattoberfläche und das Fehlen von Wirkstoffkristallen in der Spritzbrühe. Damit werden mögliche Düsenverstopfungen verhindert.

Die Einführung von Betanal maxxPro in Deutschland wird im Jahr 2012 erfolgen.

Literatur

BLEIN, J.P. UND R. SCALLA, 1984: A SECONDARY MODE OF ACTION OF THE HERBICIDE LENACIL: MODIFICATION OF K⁺ PERMEABILITY OF *ACER PSEUDOPLATANUS* CELLS. PLANT SCIENCE LETTERS **34**, 7-16.

Gezielte und flexible Bekämpfung von Problemunkräutern im Winterraps mit dem Nachauflauferbizid FOX® im neu zugelassenen Splitting-Verfahren

Direct and flexible control of problem weeds in winter oilseed rape with the post-emergence herbicide FOX® by the recently registered splitting application

Martina Fell

Feinchemie Schwebda GmbH, Edmund-Rumpler-Str. 6, D-51149 Köln

Martina.Fell@FCS-Feinchemie.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.067

Zusammenfassung

Mit firmeneigenen Versuchen und Erfahrungen und Empfehlungen der amtlichen Pflanzenschutzberatung wird die herbizide Wirksamkeit von FOX® (480 g/l Bifenox) in Winterraps, die mittels zwei verschiedener Verfahren erreicht werden kann, verglichen. Es erweist sich, dass eine Splitting-Anwendung von 0,3 l/ha im BBCH 14 gefolgt von 0,7 l/ha im BBCH 16 im Nachauflauf im Herbst gegen verschiedene Problemunkräuter im Winterraps eine deutliche Wirkungsverbesserung bringt. Von besonderer Relevanz sind Unkräuter wie Ackerkrummhals/Ochsenszunge, Rauke-Arten, Hirtentäschel, Hellerkraut und Storchschnabel-Arten. Neben dem Vorteil einer gezielten Behandlung im Nachauflauf gestatten die geltenden Abstandsauflagen bei Verwendung entsprechender Applikationstechnik die weitgehende Behandlung bis an den Ackerrand.

Stichwörter: Applikations-Verfahren, Bifenox, Nachauflauf, Unkrautbekämpfung, Wirkungsverbesserung

Summary

Based on field trials initiated by FCS and experiences and recommendations from the official Plant Protection Service, the herbicidal efficacy of FOX® in winter oilseed rape is demonstrated by comparing two different application practices. The post-emergence splitting application of 0.3 l/ha in BBCH 14, followed by 0.7 l/ha in BBCH 16 in winter oilseed rape results in a significantly improved efficacy on different problem weeds. Most relevant are *Anchusa* spp., *Sisymbrium* spp., *Capsella bursa-pastoris*, *Thlaspi arvense* and *Geranium* spp.. Besides the advantageous direct weed control at post-emergence, the prevailing distance restrictions allow the application of FOX® up to the field boundaries.

Keywords: Bifenox, efficacy increase, mode of application, post-emergence application, weed control

1. Einleitung

In den letzten Jahren haben sich Ackerkrummhals/Ochsenszunge, Rauke-Arten, Hirtentäschel, Hellerkraut und Storchschnabel-Arten in vielen Regionen des Rapsanbaus mehr und mehr zu Problemunkräutern entwickelt. Da diese Unkräuter häufig derart stark aufaufen, dass die Jugendentwicklung der Rapspflanzen gehemmt wird, ist die sichere und frühzeitige Ausschaltung der Unkräuter für einen wirtschaftlichen Rapsanbau von großer Bedeutung.

Die Anwendungsmöglichkeiten des bewährten Nachauflauferbizides FOX® (480 g/l Bifenox) sind durch die Zulassung des Splittingverfahrens erweitert worden. Mit der Anwendung von FOX® mit 0,3 l/ha im Stadium BBCH 14, gefolgt von einer weiteren Behandlung mit 0,7 l/ha im Stadium BBCH 16 konnte die Wirksamkeit insbesondere gegen die genannten Problemunkräuter signifikant erhöht werden.

Im Folgenden werden Splitting- und einmalige Anwendung von FOX® mit 1,0 l/ha an Hand von Versuchsergebnissen und Praxiserfahrungen verglichen.

2. Material und Methoden

2.1 Feldversuche zur Wirksamkeit

Zur Ergänzung der bisherigen Zulassung von FOX® (Zul. Nr. 024193-00) mit einmaliger Anwendung wurden im Jahre 2007 sechs Feldversuche in Winterraps angelegt, in denen die zulässige maximale Aufwandmenge von 1,0 l/ha in der Relation von 0,3 l/ha gefolgt von 0,7 l/ha gesplittet wurde. Die erste Applikation erfolgte im Stadium BBCH 14 der Kultur. In einem Abstand von durchschnittlich 13

Tagen wurde dann ein weiteres Mal im Stadium BBCH 16 appliziert. Als Vergleich wurde FOX[®] mit 1,0 l/ha im Stadium BBCH 16 angewendet. Zusätzlich wurde in vier Versuchen Butisan (Metazachlor) mit 1,0 l/ha, in einem Versuch außerdem Agil (Propaquizafop) mit 0,75 l/ha vorgelegt.

Die Versuche wurden in randomisierten Blockanlagen mit vier Wiederholungen auf Parzellen von durchschnittlich 27 m² angelegt. Es wurden die Ergebnisse von zwei Bonituren, 3...9 Wochen (Herbstbonitur) und 21...26 Wochen (Frühjahrsbonitur) nach der Behandlung, herangezogen, um die Sofort- und die Dauerwirkung beurteilen zu können. Zwei Versuche wurden beerntet.

3. Ergebnisse

3.1 Wirksamkeit

Die Ergebnisse der Herbstbonitur bis neun Wochen nach der Behandlung sind in der Abbildung 1 dargestellt.

Die Splitting-Behandlung zeichnet sich bei den bewerteten Unkrautarten durch eine schnellere Anfangswirkung aus, wenn auch in diesem Stadium noch verhältnismäßig große Schwankungsbreiten zu verzeichnen sind.

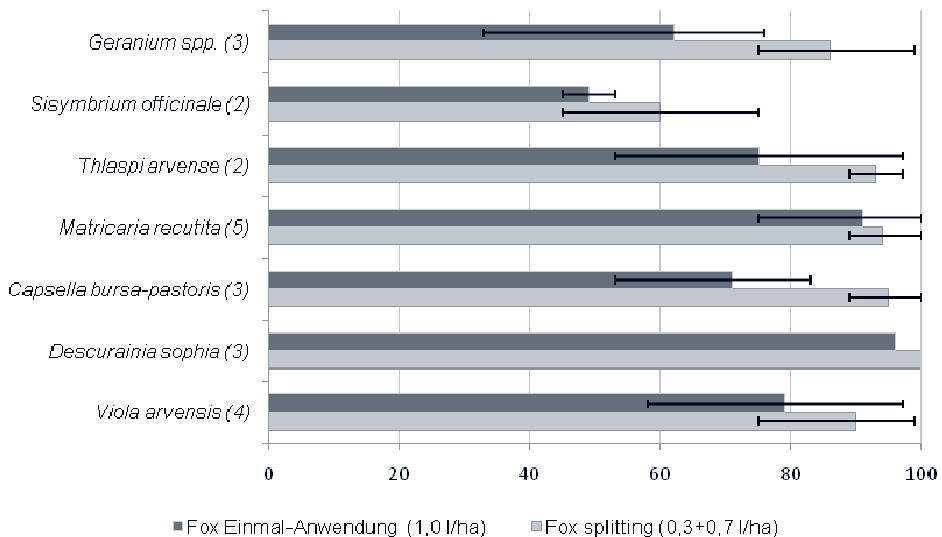


Abb. 1 Wirkung von FOX[®] (0,3 + 0,7 l/ha) bei Splitting-Behandlung vs. Einmalbehandlung, Herbstbonitur.

Fig. 1 Efficacy of FOX[®] (0.3 + 0.7 l/ha), splitting application vs. single application, autumn assessment.

Die vorteilhafte Wirkung der geteilten Anwendung von FOX[®] zeigt sich auch bei Bonitur im Frühjahr (Abb. 2), die Einzelwerte der Wirkungsgrade liegen in allen Fällen > 90 %. Sowohl die Stärke als auch die Sicherheit der Wirkung sind der Einmal-Anwendung überlegen. Die größten Vorteile bietet das Splitting bei Problemunkräutern wie Storchschnabel, Besenrauke und anderen Kreuzifern.

Bei einem Ertrag von 30,1 dt/ha in der unbehandelten Kontrolle wurden Mehrerträge von 18 % (Splitting) beziehungsweise 17 % (Einmal-Behandlung) erzielt und damit die wirtschaftliche Bedeutung einer gezielten Unkrautbekämpfung unterstrichen.

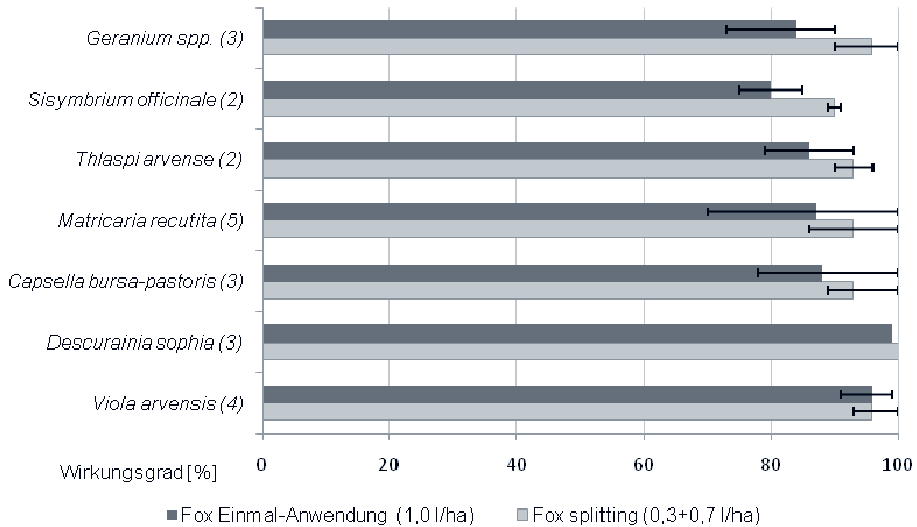


Abb. 2 Wirkung von FOX[®] (0,3 + 0,7 l/ha) bei Splitting-Behandlung vs. Einmalbehandlung, Frühjahrsbonitur.
Fig. 2 Efficacy of FOX[®] (0.3 + 0.7 l/ha), splitting application vs. single application, spring assessment.

4. Diskussion

4.1 Versuchsergebnisse und Praxiserfahrungen zur Wirksamkeit

Durch vielfältige Einflüsse wie Bodenbearbeitung, mangelhafte Ackerhygiene, Klima, Herbizideinsatz und andere haben sich seit geraumer Zeit einige bis dahin weniger bedeutsame Schadpflanzen zu regelrechten Problemunkräutern entwickelt. Sie sind im Artenspektrum mehr und mehr dominant und mit verfügbaren Mitteln nur schwer zu kontrollieren.

Solche Arten sind zum Beispiel:

Wegrauke	<i>Sisymbrium officinale</i> (L.) SCOP
Gemeine Besenrauke	<i>Descurainia sophia</i> (L.) WEBB
Acker-Krummhals	<i>Lycopsis arvensis</i> L.
Gemeine Ochsenzunge	<i>Anchusa officinalis</i> L.
Storchschnabel-Arten	<i>Geranium spp.</i>
Gemeiner Erdrauch	<i>Fumaria officinalis</i> L. s. l.

Das Nachauflauf-Herbizid FOX[®] (480 g/l Bifenox) hat sich als eine sehr wichtige Komplettierung der Herbizidpalette insbesondere zur Bekämpfung der genannten Problemunkräuter erwiesen. Mit der Zulassung der Splitting-Anwendung (0,3 + 0,7 l/ha, BBCH 14 und 16) kann seine Wirksamkeit und vor allem seine Wirkungssicherheit deutlich erhöht werden (SCHLEICH-SAIDFAR, 2011; LWK NRW, 2011; LFL, 2011; GANSWIG, 2011). SCHLEICH-SAIDFAR (2011) berichtet aus Schleswig-Holstein über die gute Wirkung von FOX[®] bei rechtzeitiger Splitting-Anwendung gegen Barbenkraut (*Barbarea vulgaris*), einem Unkraut, das gegenwärtig mit anderen Maßnahmen nicht ausreichend zu bekämpfen ist. Diese Erfahrungen und Ergebnisse der Pflanzenschutzpraxis bestätigen die eigenen Versuchsergebnisse sehr eindrucksvoll.

In vielen Versuchsberichten und Publikationen wird unter anderem immer wieder auf die Wirksamkeit gegen Ackerkrummhals (*Lycopsis arvensis*) verwiesen. Zum einen wird dem Herbizid FOX[®] eine gute Wirkung gegen dieses hartnäckige Unkraut bescheinigt. Zum anderen wird

hervorgehoben, dass der außerordentlich wichtige frühe Behandlungstermin (BBCH 14) mit der nunmehr zugelassenen Splitting-Anwendung möglich geworden ist. In jedem Falle bietet die Nachaufaufanwendung ein gezieltes Vorgehen im Sinne der integrierten Unkrautbekämpfung (SCHRÖDER und MEINLSCHMIDT, 2011).

Es kommt hinzu, dass die günstigen Eigenschaften von FOX[®] bei entsprechender Applikationstechnik die Behandlung bis an den Ackerrand gestatten, während anderenfalls wegen geltender Abstandsauflagen Ackerränder unbehandelt bleiben (ANONYMUS, 2010), selbst wenn dadurch eine zweimalige Applikation erforderlich wird. Damit lässt sich ein wesentlicher Aspekt der Verbreitung von Ackerkrummhals im Speziellen und den Problemunkräutern im Allgemeinen besser als bisher möglich abdecken.

Wie die Abbildungen 1 und 2 zeigen, sind mit dem Splittingverfahren auch die beiden Rauke-Arten sehr gut zu kontrollieren, wobei FOX[®] gegen die Sophienrauke (*Descurainia sophia*) als besonders sichere Lösung gilt.

Die Wirkung gegen Ackerhellerkraut (*Thlaspi arvense*) und Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*) ist ebenfalls hervorzuheben, da diese beiden Arten wegen ihrer botanischen Verwandtschaft zum Raps mit anderen Herbiziden oft nicht ausreichend bekämpft werden können und sich deshalb gerade in dieser Kultur mehr und mehr zu Problemunkräutern entwickeln.

Auf Standorten mit Kamille, Vogelmiere, Windhalm u.a. bietet sich nach Praxiserfahrungen eine Spritzfolge aus FUEGO[®] (500 g/l Metazachlor) und FOX[®] an. Die Kombination aus FOX[®] und Effigo[®] (67 g/l Picloram + 267 g/l Clopyralid) erweitert das Wirkungsspektrum und erfasst zusätzlich Kletten-Labkraut, Kornblume u. a. Unkräuter.

4.2 Verträglichkeit

Aus langjährigen Erfahrungen bei der Anwendung von Bifenox in verschiedenen Kulturen ist bekannt, dass in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium, Kulturzustand und Wetter für Bifenox typische Blattflecken („Bifenox-Flecken“) auftreten können. Wie auch in anderen Kulturen verwachsen sich diese Erscheinungen im Raps bis zum Vegetationsende sehr schnell und führen bei sachgemäßer Anwendung nicht zu negativen Auswirkungen auf den Ertrag.

Für die Splitting-Anwendung gilt diese Erfahrung in gleicher Weise. In eigenen Versuchen sind die phytotoxischen Effekte beider Verfahren vergleichbar. Langjährige Versuchsergebnisse belegen jedoch, dass es sich bei der Splitting-Anwendung um die verträglichere Lösung für die Kultur handelt. Übereinstimmend stellten SCHRÖDER und MEINLSCHMIDT (2011), GANSWIG (2011) sowie SCHLEICH-SAIDFAR (2011) fest, dass durch geteilte Aufwandmengen und durch den frühen Behandlungsbeginn das Splitting zu einer Verminderung der Blattsymptome führt.

In keinem Falle gab es in mechanisch unkrautfrei gehaltenen Verträglichkeitsversuchen Ertragsunterschiede zwischen der Splitting- und der Einmal-Anwendung.

Hinweis: [®] die aufgeführten Handelsnamen sind registrierte Warenzeichen der Hersteller.

Literatur

- ANONYMUS, 2010: INFO 15/2010 VOM 29.07.2010. N.U. AGRAR GMBH.
DLR RHEINLAND-PFALZ, 2010: INFO 16/2010, UNKRAUT- UND UNGRASBEKÄMPFUNG IN WINTERRAPS 2010.
FEINCHEMIE SCHWEBDA GMBH, 2007: FIRMENEIGENE VERSUCHE, DEUTSCHLAND, 2007.
GANSWIG, C., 2011: HERBIZIDMAßNAHMEN IM WINTERRAPS. IN: LALLF MECKLENBURG-VORPOMMERN: ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN ZUM INTEGRIERTEN PFLANZENSCHUTZ IM ACKERBAU 2011, 47-50.
HOFMANN, B., 2010: ALLES FÜR GUTE ERTRÄGE. NEUE LANDWIRTSCHAFT **8**, 47-50.
LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, 2011: UNKRAUTBEKÄMPFUNG IM WINTERRAPS. RATGEBER PFLANZENBAU UND PFLANZENSCHUTZ, 336-338.
LFL, 2011: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, INSTITUT FÜR PFLANZENSCHUTZ, JULI 2011.
MEINLSCHMIDT, E. UND G. SCHRÖDER, 2010: HERBIZIDSTRATEGIEN 2010/11. RAPS **3**, 154-163.
SCHLEICH-SAIDFAR, C., 2011: RAPS: ZIEHEN SIE ALLE REGISTER GEGEN RESISTENZEN! TOP AGRAR **8/2011**, 56-63.
SCHRÖDER, G. UND E. MEINLSCHMIDT, 2011: RESTVERUNKRAUTUNG IM NACHAUFLAUF KONTROLLIEREN. RAPS **4**, 14-21.

SALSA® (Ethametsulfuron-Methyl 75 % WG): Ein neuartiges selektives Rapsherbizid für Europa

SALSA® (Ethametsulfuron-methyl 75 % WG): A novel selective herbicide for oilseed rape in Europe

Hans G. Drobny* & Norbert Schlang

DuPont de Nemours (Deutschland) GmbH, Hugenottenallee 173-175, D-63263 Neu-Isenburg

*Korrespondierender Autor, Hans.G.Drobny@deu.dupont.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.068

Zusammenfassung

SALSA® ist ein neuartiges selektives Herbizid in Raps zur Bekämpfung wichtiger dikotyler Unkräuter im Nachauflauf im Herbst. Der Wirkstoff wurde zur Registrierung in der EU angemeldet. Eingesetzt mit 25 g/ha + Netzmittel (Trend 90) werden viele momentan schwer bekämpfbare Arten erfasst, darunter alle kruziferen Unkrautarten, sowie *Geranium spp.* SALSA kann eingesetzt werden im frühen Nachauflauf (ab BBCH 10), in Mischung oder in Sequenz mit Bodenherbiziden. Auf Grund des Wirkungsspektrums (keine Gräser) wird nur ein geringer zusätzlicher Selektionsdruck bezüglich ALS-resistenter Ungraspopulationen in den üblichen Raps-Fruchtfolgen erwartet.

Stichwörter: Ethametsulfuron-Methyl, *Geranium spp.*, Kruziferen, Nachauflauf-Herbizid, Raps, Sulfonylharnstoff

Summary

SALSA® is a novel selective herbicide in oilseed rape for the control of important broadleaved weeds post-emergence in fall. EU registration is applied for at 25 g/ha + surfactant (Trend 90). The spectrum of activity includes many difficult to control weed species like all cruciferous weeds, as well as *Geranium spp.* Salsa can be applied early post-emergent (from BBCH 10), in mixture or in sequence with common soil herbicides. Based on its weed control spectrum (no grasses) only limited additional selection pressure on ALS resistant grass weed populations is expected in the typical oilseed rape crop rotations.

Keywords: Cruciferous species, Ethametsulfuron-methyl, *Geranium spp.*, oilseed rape, post-emergence herbicides, sulfonylurea

1. Einleitung

Ethametsulfuron-Methyl ist ein herbizider Wirkstoff aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe (Abb. 1), welcher im Jahre 1984 von DuPont entdeckt wurde (Code DPX-A7881) und 1989 in Kanada in Sommerraps registriert wurde (HUTCHISON et al., 1987; PARSONS, 1987).

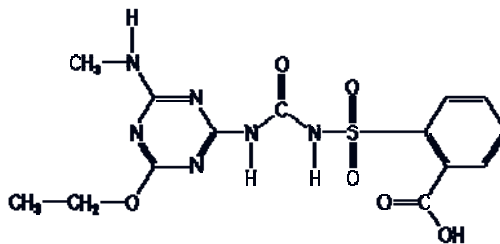


Abb. 1 Strukturformel von Ethametsulfuron-Methyl.

Fig. 1 Structural formula of ethametsulfuron-methyl.

Die Selektivität von Ethametsulfuron-Methyl in Raps (*Brassica napus*) beruht auf einer raschen Metabolisierung des Moleküls. Andere wichtige Unkrautarten im Rapsanbau, darunter viele kruzifere Arten, sind dazu nicht in der Lage und sind daher sensitiv gegenüber dem Wirkstoff. Wie andere Sulfonylharnstoffe ist Ethametsulfuron-Methyl ein spezifischer Hemmstoff der Acetolactatsynthase (ALS). Der Wirkstoff wird über das Blatt und die Wurzel aufgenommen und rasch in der ganzen Pflanze verteilt. Die besten Wirkungsgrade werden bei kleinen Unkrautstadien im Nachauflauf mit Zusatz eines geeigneten Netzmittels (Trend 90) erzielt.

Ethametsulfuron-Methyl weist als klassischer Sulfonylharnstoff mit niedrigen Aufwandmengen günstige Eigenschaften bezüglich Anwender und Umwelt auf.

Die Veränderungen im Winterraps-Herbizidmarkt in Europa in den letzten zwei Jahrzehnten führten zur Entscheidung, den Wirkstoff auch in der EU zu registrieren. Über umfangreiche Feldstudien in allen wichtigen Ländern mit Winterraps und die Erstellung eines Registrierungs-Dossiers für die EU wurde im Jahre 2010 ein entsprechender Antrag eingereicht. Erste Zulassungen werden ab 2012 in den einzelnen Ländern erwartet.

2. Material und Methoden

Feldversuche zur Wirksamkeit und Kulturselektivität in Winterraps wurden in den Jahren 2006 bis 2010 in Deutschland, Frankreich, England, Polen, Tschechische Republik und Ungarn angelegt und nach den EPPO-Richtlinien PP 1/49, 1/135, 1/152, 1/181 ausgewertet. Der Wirkstoff wurde in der kommerziellen Formulierung als 75 % WG mit Netzmittel eingesetzt. Zusätzlich wurden verschiedene Tankmischungen und Spritzfolgen mit anderen kommerziellen selektiven Raps herbiziden getestet. Der Einsatz erfolgte in den Rapsstadien BBCH 10-15.

3. Ergebnisse

Die Mittelwerte der Wirkungsgrade von SALSA® aus den Feldversuchen der Jahre 2006-2010 sind in Abbildung 2 dargestellt. Da die Versuche insgesamt nicht orthogonal angelegt wurden, wird hier auf eine statistische Auswertung verzichtet. Bei allen kruziferen Arten und *Geranium* spp. liegen die Wirkungsgrade bei bzw. über 90 %. Eine detailliertere Auswertung ergab, dass die Wirkungsgrade bei Einsatz nach BBCH 12 der Unkräuter deutlich abfielen. Damit liegen die Wirkungsgrade bei frühzeitigem Einsatz im Schnitt noch höher. Das Bodenherbizid Metazachlor, eingesetzt im Voraufbau mit 750-1250 g AS/ha, erreicht gegen diese Arten nur Wirkungsgrade von < 50 % (Ausnahme *Thlaspi arvensis* mit 75 %).

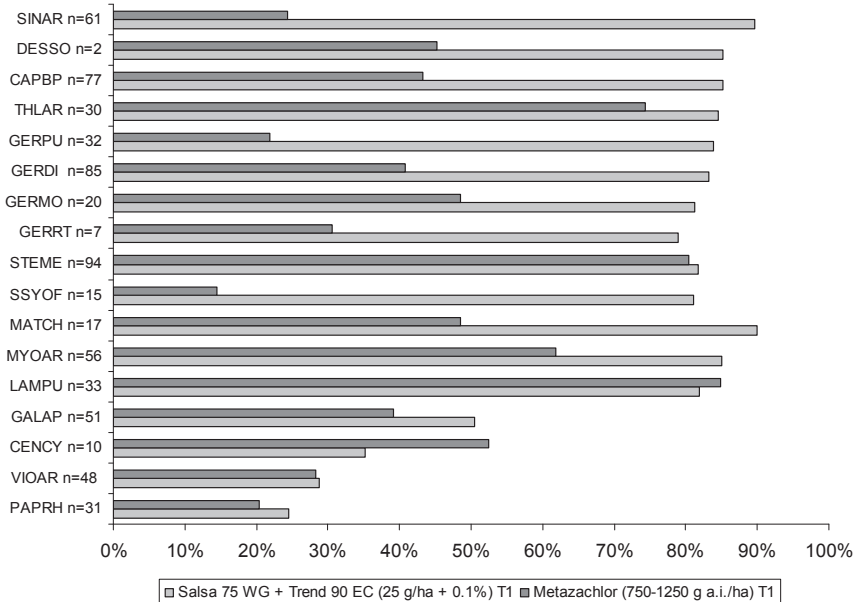


Abb. 2 Wirkungsspektrum SALSA im Vergleich zu Metazachlor (Mittelwerte Feldversuche Europa 2006-2010).

Fig. 2 Spectrum of activity of SALSA in comparison to metazachlor (mean values of field trials Europe 2006-2010).

Die Wirkungsgrade der Mischung SALSA + Metazachlor gegen wichtige Unkräuter, eingesetzt in BBCH 10-12, sind in Abbildung 3 dargestellt. Es zeigt sich eine gute Ergänzung der beiden Herbizide mit insgesamt noch optimierten Wirkungsgraden. Damit besteht die Möglichkeit, diese Mischung flexibel und gezielt mit einer Behandlung in BBCH 10-12 einzusetzen.

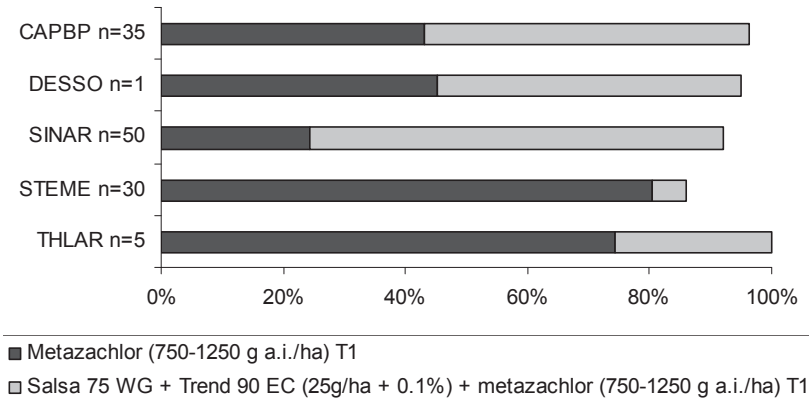


Abb. 3 Wirkungsgrade Tankmischung SALSA + Metazachlor (Mittelwerte Feldversuche Europa 2006-2010).
Fig. 3 Efficacy tank mixture SALSA + metazachlor (mean values of field trials in Europe 2006-2010).

4. Diskussion

4.1 Wirksamkeit

Die Ergebnisse bestätigen das bereits aus anderen Ländern berichtete einzigartige Wirkungsspektrum von SALSA® (BERTIN, 2010; BRACHACZEK und SALAS, 2011), gegenüber vielen Unkrautarten, welche von den meisten bisherigen kommerziellen Standard-Herbiziden nicht erfasst werden. Dazu zählen praktisch alle kruziferen Arten sowie Storchschnabelarten (*Geranium* spp.), Kamillearten (*Matricaria* spp.), purpurrote Taubnessel (*Lamium purpureum*), Acker-Vergissmeinnicht (*Myosotis arvensis*), Vogel-Sternmiere (*Stellaria media*) und auch Kerbelarten (*Anthriscus* spp.). Nicht ausreichend erfasst werden Klatschmohn (*Papaver rhoeas*), Kornblume (*Centaurea cyanus*), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) und Klettenlabkraut (*Galium aparine*). Gräser und Ausfallgetreide werden bei den registrierten Aufwandmengen nicht erfasst. Damit ist SALSA® eine wichtige Ergänzung zu den Standard-Bodenherbiziden auf der Basis von Metazachlor, entweder in Mischung im frühen Nachauflauf (ab BBCH 10) oder nach Vorlage des Bodenherbizids im Nachauflauf (ab BBCH 12). Die besten Wirkungsgrade werden erzielt bei Anwendung auf kleine, aktiv wachsende Unkräuter im Stadium BBCH 10-12. Die aufgeführten Wirkungslücken können im Nachauflauf gut mit Produkten auf der Basis von synthetischen Auxinen geschlossen werden. SALSA® ist breit mischbar mit anderen Herbiziden (z.B. mit ACCase-Hemmern gegen Ausfallgetreide/Gräser) sowie Fungiziden und Insektiziden. Die gezielte Anwendung im Nachauflauf erlaubt die Anpassung des Einsatzes an das tatsächliche Unkrautauftreten, gemäß den Richtlinien des Integrierten Pflanzenschutzes (IP).

Ab 2012 werden die Rapsmühlen in Europa nur noch Partien akzeptieren, deren Gehalt an Glucosinolaten unter 18 µmol/g und bei Erucasäure unter 2 % liegt. Ursächlich für schlechtere Qualitäten können Verunreinigungen durch die Samen kruziferer Unkräuter sein, v.a. Ackersenf (*Sinapis arvensis*). Durch die sichere Kontrolle der kruziferen Unkräuter durch den Einsatz von SALSA® kann die Qualität des Ernteguts gesichert werden. Direkte Studien hierzu wurden abgeschlossen und sollen veröffentlicht werden.

Zur Kulturverträglichkeit liegen unter anderem Daten aus Frankreich vor (BERTIN, 2010). In sechs beernteten Versuchen (2006-2008) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Ertrag der mit SALSA® behandelten Parzellen, in einfacher und in doppelter Aufwandmenge, im Vergleich zur

unkrautfreien, unbehandelten Parzelle und einem Vergleichsmittel. Zusätzlich wurden noch weitere Parameter untersucht: 1000-Korn-Gewicht, Ölgehalt, Proteingehalt, Fettsäurespektrum, sowie die Keimfähigkeit der Samen der behandelten Pflanzen. Auch hier zeigten sich keine signifikanten Differenzen. Somit kann SALSA® als sehr kulturverträglich bezeichnet werden.

Die Wirksamkeit von Ethametsulfuron-Methyl bei der angemeldeten Aufwandmenge über den Boden ist gering. Es bestehen keine Einschränkungen für reguläre Nachbaukulturen. Bei erforderlichem Umbruch durch Auswinterung können im folgenden Frühjahr alle Getreidearten, Mais und Sonnenblumen nachgebaut werden. Bei frühzeitigem Umbruch im Herbst kann noch Winterweizen angebaut werden. Mögliche Einschränkungen durch weitere eingesetzte Herbizide sind dabei zu beachten.

Das Wirkungsspektrum und die Einsatzmöglichkeiten von SALSA® sind ähnlich dem mit der Clearfield-Technologie einzuführenden Imazamox (SCHÖNHAMMER et al., 2010). Die mit dieser Technologie verbundene Problematik des Ausfall-Rapses, welcher dann in nachfolgenden Kulturen (Getreide, Rüben) nicht mehr mit ALS-Hemmern bekämpft werden kann, besteht bei SALSA® nicht. Zudem kann SALSA® in allen Rapsorten und -hybriden eingesetzt werden.

4.2 Resistenzmanagement

Mit SALSA® wird erstmals ein Sulfonylharnstoff (HRAC Gruppe B) in Winterraps eingeführt. SALSA® weist praktisch keine Wirkung gegen die hinsichtlich des Resistenzmanagements in Deutschland mit Abstand wichtigsten Ungrasarten Ackerfuchschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Gemeiner Windhalm (*Apera spica-venti*) auf. Daher ist mit keinem zusätzlichen Selektionsdruck in Bezug auf Resistenzen von diesen Gräsern gegen ALS-Hemmer in der Fruchtfolge zu rechnen. Die genannten Ungräser können und müssen im Raps wie gewohnt mit Wirkstoffen mit alternativen Wirkmechanismen bekämpft werden, wie z.B. etliche Bodenherbizide (HRAC K1 und K3), und ACCase-Hemmern, bevorzugt „DIM's“ (HRAC A). Resistenzen bei dikotylen Arten gegen ALS-Hemmer haben bislang in Deutschland nur eine geringe Bedeutung. Bislang nachgewiesen wurden einzelne Populationen von Kamille (*Matricaria recutita*) in Schleswig-Holstein (DROBNY et al., 2008). Diese wird durch SALSA erfasst und potentiell selektiert. Bei starkem Auftreten sollten deshalb in der Fruchtfolge auch Herbizide mit alternativem Wirkmechanismus eingesetzt werden. Andere potentiell gefährdete Arten wie *Lamium purpureum* und *Stellaria media* werden durch Metazachlor mit erfasst.

Hinweis: ® eingetragenes Warenzeichen von DuPont

Literatur

- BERTIN, G., 2010: ETHAMETSULFURON-METHYL: UNE NOUVELLE MOLÉCULE POUR LE DESHERBAGE DU COLZA. XXIÈME CONFÉRENCE COLUMA, JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES, AFPP, 756-762.
- BRACHACZEK, A. UND M. SALAS, 2011: ETHAMETSULFURON-METHYL (SALSA® 75WG): A NEW ACTIVE AND THE FIRST POST-EMERGENT HERBICIDE THAT CONTROLS *BRASSICA* AND *GERANIUM* SPECIES IN OIL SEED RAPE. 13TH INTERNATIONAL RAPESEED CONGRESS. 5-9 JUNE 2011.
- 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**, 11-20.
- HUTCHISON, J. M.; C.J. PETER., K. S. AMUTI, L. H. HAGEMAN, G. A. ROY UND R. STICHBURY, 1987: DPX-A7881 – A NEW HERBICIDE FOR OILSEED RAPE. 1987 BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE – WEEDS **2-7**, 63-67.
- PARSONS, I. M., 1987: USE OF DPX-A7881 FOR WEED CONTROL IN SPRING OILSEED RAPE IN CANADA. 1987 BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE – WEEDS **2-7**, 809-814.
- SCHÖNHAMMER, A., M. PFENNING UND S. CHENEVIER, 2010: INNOVATIVE MÖGLICHKEITEN DER UNKRAUTBEKÄMPFUNG IM RAPS MIT DEM CLEARFIELD-SYSTEM. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 329, 2010.

Triafamone (AE 1887196) a new rice herbicide for Asia

Triafamone (AE 1887196) ein neues Reis-Herbizid für Asien

Christopher Rosinger^{1*}, Shinichi Shirakura², Erwin Hacker¹, Yoshitaka Sato³, Silke Heibges² & Shin Nakamura³

¹Bayer CropScience AG, Industriepark Hoechst, H872, 65926 Frankfurt am Main, Germany

²Bayer CropScience AG, Alfred-Nobel-Straße 50, 40789 Monheim am Rhein, Germany

³Bayer CropScience K.K. 1-6-5 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8262, Japan

*Corresponding author, chris.rosinger@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.069

Summary

Triafamone (approved ISO common name) is a new sulfonanilide herbicide discovered and developed by Bayer CropScience AG under the code number AE 1887196. Its mode of action is inhibition of the enzyme acetolactate synthase (ALS). Field trials since 2007 have shown that triafamone can be effectively used in direct seeded or transplanted rice from seeding or transplanting to late post-emergence at rates of 20 to 50 g a.i./ha using spray or granular formulations. Target weeds are important grasses such as *Echinochloa crus-galli*, *Echinochloa colonum*, *Echinochloa oryzicola*, *Paspalum distichum*, *Isachne globosa*, and sedges (including ALS resistant strains). The selective weed control spectrum is further extended in several co-formulation products being developed by Bayer CropScience AG. Environmental fate, ecotoxicology and toxicology studies indicate that triafamone has a favorable user, consumer and environmental profile. First registrations are expected in 2014.

Keywords: ALS-inhibitor, *Echinochloa* spp., weed control

Zusammenfassung

Triafamone (genehmigte ISO Bezeichnung) ist ein neues Herbizid aus der Gruppe der Sulfonanilide, welches von Bayer CropScience AG erstmals synthetisiert und mit dem Code AE 1887196 entwickelt wird. Die Wirkung basiert auf der Hemmung des Enzyms der Acetolactatsynthase (ALS). Seit 2007 durchgeführte Feldversuche zeigen, dass Triafamone sowohl in direkt gesättem als auch in gepflanztem Reis von der Aussaat bzw. von der Pflanzung bis zum späten Nachauflauf mit Aufwandmengen von 20 bis 50 g a.i./ha in Spritz- oder Granulatformulierungen eingesetzt werden kann. Zielunkräuter sind wichtige Ungräser wie *Echinochloa crus-galli*, *Echinochloa colonum*, *Echinochloa oryzicola*, *Paspalum distichum*, *Isachne globosa* sowie Seggen (einschließlich ALS-resistenter Biotypen). Das selektiv bekämpfte Unkrautspektrum wird durch mehrere Co-Formulierungen erweitert, welche gegenwärtig von Bayer CropScience AG entwickelt werden. Die Ergebnisse von Umweltprüfungen und toxikologischen Studien belegen ein günstiges Profil von Triafamone für Anwender, Verbraucher und Umwelt. Erste Registrierungen werden für 2014 erwartet.

Stichwörter: ALS-Hemmer, *Echinochloa* spp., Unkrautbekämpfung

1. Introduction

It is predicted that the world population will increase to over 9 billion by 2050 and the FAO estimates that food production will need to increase by 70 percent to meet demand (FAO, 2009). Rice is a staple food in many developing countries, especially in Asia, where the population increase is generally highest. In addition, the trend to urbanization is leading to farm labor shortages in a number of Asian rice producing countries. As a result of these trends there is an enormous need for innovation in rice production. Whilst traditional breeding (including hybrid rice production) and the introduction of genetic traits (e.g. yield traits and pest, disease and environmental stress protection) will play a major role, there is also an increasing need for novel crop protection products. Bayer CropScience is strongly involved in all above mentioned innovation areas and this publication introduces triafamone, a new rice herbicide being developed for rice farmers in Asia.

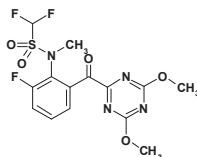
Triafamone was identified through a specialized rice herbicide screening cascade running in Yuki Research Centre in Japan and Herbicide Research Biology in Frankfurt, Germany. The level of interest in this non-sulfonylurea ALS inhibitor grew when it was found to be effective and selective under many use scenarios, for example in spray and water surface application, from early to late timings in transplanted and direct seeded rice and safe to a wide range of japonica and indica rice varieties.

Interest grew still further when Triafamone was shown to control ALS (SU) resistant biotypes of key weeds such as *Fimbristylis miliacea* and *Echinochloa crus-galli*. Triafamone is also being developed with other suitable herbicide mixing partners in order to extend the weed control spectrum even further. It has chemical and physical properties which allow various formulations needed for the different application scenarios. Regulatory studies to date show that triafamone has favorable profiles for environmental fate, plant residues, toxicology and ecotoxicology. Based on current timelines for regulatory submissions, the first registrations are expected in 2014.

2. Materials and methods

2.1 Triafamone: Identity, chemical and physical properties

Bayer CropScience code numbers:	AE 1887196, BCS-BX60309
Common name:	Triafamone (approved by ISO)
Chemical name (IUPAC):	2'-[(4,6-dimethoxy-1,3,5-triazin-2-yl)carbonyl]-1,1,6'-trifluoro-N-methylmethanesulfonanilide
CAS reg. number:	874195-61-6
Empirical formula:	C ₁₄ H ₁₃ F ₃ N ₄ O ₅ S
Molecular weight:	406.34
Structural formula:	



Appearance:	White powder
Density	1.53 g/ml
Melting point:	105.6 °C
Vapor pressure:	6.4×10 ⁻⁶ Pa (20 °C)
Henry's constant:	KH = 6.3×10 ⁻⁵ Pa m ³ /mol (20 °C)

	pH 4	pH 7	pH 9
Solubility in water at 20 °C [g/l]	0.036	0.033	0.034
Partition coeff. octanol/water, logPow at 23 °C	1.5	1.5	1.6

2.2 Mode of action

Triafamone is absorbed through the foliage and roots and offers pre-emergence and post-emergence control of weeds with foliar and soil residual activity. Triafamone itself does not inhibit the ALS enzyme *per se* but must be transformed to the active metabolite in plants. This active metabolite inhibits the enzyme (ALS) and thus triafamone is classified into HRAC mode of action class B. The transportation of the metabolite by phloem and xylem within plants has been confirmed and indicates the systemic mobility to the target site. Weeds cease to grow after application and show the characteristic ALS symptoms (e.g. stunting, necrosis and discoloration) within a week or two depending on environmental conditions.

2.3 Field testing

Triafamone was applied to rice fields at timings from pre-emergence to late post-emergence. This publication is only intended to give a broad overview of the performance of triafamone in the large number of field trials conducted during 2007-2010. Trials used a number of formulations (especially suspension concentrates and wettable granules) applied either by spraying in non-flooded

conditions, or by water surface application. The methods varied from country to country depending on local rice cultivation methods and weed control systems. Rice was either directly sown or transplanted from nursery boxes. In all the trials, at least three replicate plots were used and the effects on rice crop and weed control assessed visually compared with untreated control plots on a percentage scale at various times after application (0 = no effect; 100 = complete kill). The data presented for weed control are from the final assessments, whereas crop injury data is the maximum observed at any assessment timing in the trial set covered.

3. Results

3.1 Toxicology and ecotoxicology

Triafamone has a very low acute toxicity after the oral, dermal and inhalation route of exposure: the LD₅₀ and LC₅₀ values are higher than the cut-off values triggering classification according to the globally harmonized system of classification and labeling of chemicals. Triafamone is devoid of corrosive properties, it is not irritating to the skin and the eye. Moreover, it has no skin sensitization potential based on the result of the local lymph node assay (LLNA). The intrinsic profile of triafamone with regards to ecotoxicology is very favorable.

Mammals

Acute oral toxicity (LD ₅₀ rat)	> 2000 mg/kg
Acute oral toxicity (LD ₅₀ mouse)	> 2000 mg/kg
Acute percutaneous toxicity (LD ₅₀ rat)	> 2000 mg/kg
Acute inhalation toxicity (LC ₅₀ rat)	> 5 mg/liter
Skin and eye irritation (rabbit)	Not irritating
Skin sensitization (LLNA, mouse)	Not sensitizing

Birds

Acute oral toxicity (LD ₅₀ bobwhite Quail)	> 2000 mg/kg
---	--------------

Aquatic organisms (LC₅₀ or EC₅₀)

Common carp	> 100 mg/liter
Daphnia	> 50 mg/liter
Algae	6.23 mg/liter

Triafamone can be classified as non-toxic to bees; the oral 48h toxicity was above 55.8 µg/bee and the contact toxicity was above 100 µg/bee. Triafamone is also non-toxic to silkworm larvae fed with dipped mulberry leaves; with no effects observed at up to 50 mg/liter. The LogPow value of 1.5 means that triafamone has a low potential for bioaccumulation.

3.2 Environmental fate

Triafamone is readily degraded in a wide range of agricultural soils under aerobic conditions and also in paddy soils with half-lives less than 10 days. Additionally, triafamone is hydrolyzed under alkaline conditions; at pH 9 the half-lives are less than 5 and 10 days at 25 and 20 °C, respectively. Should triafamone reach the aquatic environment in aerobic water/sediment systems under standard conditions, the half-life is less than 10 days. Triafamone has a low vapor pressure of 6.4 x 10⁻⁶ Pa at 20 °C and therefore is unlikely to be volatile from soil or plants surfaces. The mobility in soil can be classified (according to BRIGGS, 1973) as "intermediate", considering the adsorption to soil, and "low" if desorption from soil is taken into account. Therefore, triafamone is unlikely to contaminate groundwater.

3.3 Biological performance

Weed control and crop tolerance of triafamone have been globally evaluated in the rice fields. The trials demonstrated the excellent performance of triafamone in rice especially in Asia. It was applicable to different rice cropping systems in Asia and exhibited high flexibility in cultivation method, rice variety and application timing.

3.4 Weed control

Triafamone provides control of a wide range of grasses, sedges and broad leaved weeds typically growing in rice farming (Tab. 1). Dose rates required for control are ranged from 20 to 50 g a.i./ha depending on field conditions at the time of the treatment e.g. weed species, weed growth stage, rice growth stage, water management practices, and environmental conditions. Triafamone can be applied via spraying, shaker bottles or as granules. Combination with a suitable herbicide mixing partner could further improve the weed control spectrum.

Tab. 1 Susceptibility to triafamone of typical weeds in rice.

Tab. 1 Bekämpfung von typischen Unkräutern in Reis durch Triafamone.

Weed species	Percentage control levels at various application timings			
	Pre-emergence	Early post-emergence	Mid post-emergence	Late post-emergence
<i>Echinochloa crus-galli</i>	>95 %	>95 %	>95 %	90-95 %
<i>Echinochloa oryzicola</i>	>95 %	>95 %	>95 %	90-95 %
<i>Echinochloa colonum</i>	>95 %	>95 %	>95 %	90-95 %
<i>Leptochloa chinensis</i>	>95 %	90-95 %	80-90 %	70-80 %
<i>Paspalum distichum</i>	>95 %	>95 %	90-95 %	no test
<i>Ludwigia octovalvis</i>	>95 %	>95 %	90-95 %	80-90 %
<i>Sphenoclea zeylanica</i>	>95 %	>95 %	90-95 %	90-95 %
<i>Commelina diffusa</i>	>95 %	>95 %	90-95 %	no test
<i>Sagittaria pygmaea</i>	>95 %	>95 %	90-95 %	80-90 %
<i>Sagittaria trifolia</i>	>95 %	>95 %	90-95 %	80-90 %
<i>Aeschynomene indica</i>	>95 %	>95 %	90-95 %	no test
<i>Cyperus difformis</i>	>95 %	>95 %	>95 %	80-90 %
<i>Cyperus iria</i>	>95 %	>95 %	>95 %	80-90 %
<i>Cyperus serotinus</i>	>95 %	>95 %	>95 %	80-90 %
<i>Fimbristylis miliacea</i>	>95 %	>95 %	90-95 %	no test
<i>Eleocharis kuroguwai</i>	90-95 %	>95 %	80-90 %	70-80 %
<i>Scirpus nipponicus</i>	no test	>95 %	90-95 %	no test
<i>Scirpus planiculmis</i>	no test	>95 %	90-95 %	no test
<i>Scirpus juncooides</i>	>95 %	>95 %	80-90 %	70-80 %

3.5 Crop tolerance

In global trials over several years triafamone has shown good selectivity in rice without negative impact on the grain yield under weed free conditions. A large number of field trials across Asia has shown crop safety in direct seeded and transplanted rice after application of triafamone at a use rate of 25-50 g a.i./ha from pre-emergence to mid post-emergence of weeds (Tab. 2). The reason for the selectivity is considered to be due to differential metabolism of triafamone in rice plants and in weeds. Some selectivity has also been observed in other crops (e.g. cereals).

Tab. 2 Crop tolerance of triafamone in rice (Field trials in Asia, 2007-2010).

Tab. 2 Kulturverträglichkeit von Triafamone in Reis (Feldversuche in Asien, 2007-2010).

Use rate g a.i./ha	Maximum percentage crop injury (number of trials)					
	Transplanted rice			Direct seeded rice		
	Pre- emergence	Early post- emergence	Mid post- emergence	Pre- emergence	Early post- emergence	Mid. post- emergence
25	2 (2)	0 (8)	0 (5)	4 (12)	3 (10)	0 (5)
37,5	1 (4)	1 (7)	0 (4)	5 (9)	1 (6)	0 (4)
50	5 (13)	5 (31)	0 (5)	6 (4)	1 (3)	2 (3)

4. Discussion

Triafamone is a new herbicide being developed in Asia for weed control in rice. The data presented come from a large number of field trials which indicate that it has a wide window of weed control and broad rice selectivity. Because of the physico-chemical properties of triafamone, it can be formulated as liquids and solids which will also allow compatibility with other herbicides. This in turn is expected to allow for flexible usage such that Bayer CropScience could offer tailor-made solutions to fit farmers' needs in all rice growing countries in Asia.

It has been found that the wide range of key weeds that are controlled by triafamone alone can be extended by mixing it with other suitable rice herbicides (data not presented). Therefore, product concepts are being designed to control both wild type and resistant weed biotypes (incl. ACCase and ALS resistant).

At this stage of the development of triafamone, environmental fate, residue data, toxicology and ecotoxicology findings indicate a favorable profile for user, consumer and environment. First registrations are expected in 2014.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge their indebtedness to all Bayer CropScience colleagues throughout the world and in all responsible departments who have so far contributed to the success of the triafamone project.

References

- FAO, 2009: "HOW TO FEED THE WORLD IN 2050" EXPERT DISCUSSION PAPER FROM WORLD SUMMIT ON FOOD SECURITY, ROME, ITALY.
- BRIGGS, G., 1973: A SIMPLE RELATIONSHIP BETWEEN SOIL ADSORPTION OF ORGANIC CHEMICALS AND THEIR OCTANOL/WATER PARTITION COEFFICIENTS. PROCEEDINGS 7TH BRITISH INSECTICIDE AND FUNGICIDE CONFERENCE, pp. 475-478. NOTTINGHAM, UK.

Evaluation of the potency of different seed oil ethoxylates to increase herbicide efficacy in comparison to commercial adjuvants

Evaluierung der Wirkung von verschiedenen Pflanzenöl-Ethoxylaten auf die Steigerung der Wirkung von Herbiziden im Vergleich zu kommerziellen Adjuvantien

Julia Heini^{1*}, Hans-Georg Mainx² & Roland Gerhards¹

¹Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin, Otto-Sander-Strasse 5, 70593 Stuttgart, Germany

²BASF Personal Care and Nutrition GmbH, Henkelstrasse 67, 40551 Düsseldorf, Germany

*Corresponding author, Julia.Heini@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.0

Summary

The efficacy of many herbicides can be increased by adding adjuvants to the spray solution. Surfactants are able to increase foliar uptake of active ingredients for example, by enhancing retention of spray droplets on cuticles and penetration and absorption into leaf tissue. In this study, dose-response studies with ethoxylated seed oils (soybean, linseed, safflower and high oleic sunflower oil), in combination with the herbicides sulfosulfuron, carfentrazone-ethyl and foramsulfuron & iodosulfuron were conducted. Commercial adjuvants (polyethylated fatty alcohol, polyether siloxane and rapeseed oil methyl-ester) served as standards. The experiments were carried out under greenhouse conditions, using *Abutilon theophrasti* Medik. as test species. Dry weight of *A. theophrasti* was measured three weeks after treatment and dose-response curves were calculated by nonlinear regression analysis. Results showed that two of three herbicides did not control *A. theophrasti* sufficiently when they were applied without any adjuvant. The ethoxylated linseed oil decreased the ED_{90} of sulfosulfuron and foramsulfuron & iodosulfuron by 245- and 44-fold, respectively, whereas the ED_{90} of carfentrazone-ethyl was reduced 2-fold by the ethoxylated safflower oil. Furthermore, none of the herbicides developed its best efficiency in combination with the respective recommended commercial adjuvant. This experiment demonstrates that the potential of an herbicide can be increased adding ethoxylated seed oil adjuvants. Hence, with precise recommendations for herbicide-adjuvant-mixtures, herbicide application rates and costs could be reduced.

Keywords: Biodegradable adjuvants, dose-response studies, reduced application rates

Zusammenfassung

Die Wirkung vieler Herbizide kann durch die Zugabe von Adjuvantien zur Applikationslösung gesteigert werden. Surfactants können die Aufnahme von Wirkstoffen in die Kutikula steigern. Dies geschieht z. B. durch die Erhöhung der Retentionszeit von Applikationströpfchen und/oder durch eine Steigerung der Penetration und Aufnahme in das pflanzliche Gewebe. In dieser Studie wurden Dosis-Wirkungsversuche mit ethoxylierten Pflanzenölen (Sojabohnen-, Lein-, Färberdistel- und „High Oleic“ Sonnenblumenöl) in Kombination mit den Herbiziden Sulfosulfuron, Foramsulfuron & Iodosulfuron und Carfentrazone-ethyl durchgeführt. Als Standard dienten kommerziell erhältliche Adjuvantien (polyethylierter Fettsäurealkohol, Polyether-Siloxan und Rapsöl-Methylester). Die Experimente wurden mit Hilfe der Testspezies *Abutilon theophrasti* Medik. unter Gewächshausbedingungen durchgeführt. Drei Wochen nach der Behandlung von *A. theophrasti* wurde das Trockengewicht der Pflanzen bestimmt und Dosis-Wirkungskurven mittels Regressionsanalyse generiert. Die Ergebnisse zeigten, dass zwei der drei Herbizide keine ausreichende Bekämpfung von *A. theophrasti* erzielten, wenn sie ohne Adjuvantien appliziert wurden. Das ethoxylierte Leinöl verringerte die ED_{90} von Sulfosulfuron und Foramsulfuron & Iodosulfuron um das 245- bzw. um das 44-fache. Die ED_{90} von Carfentrazone-Ethyl hingegen konnte um das Zweifache durch die Zugabe des ethoxylierten Färberdistelöls gesenkt werden. Außerdem zeigte keines der Herbizide seine maximale Wirkung durch die Zugabe der kommerziell erhältlichen Adjuvantien. Diese Studie zeigt, dass das Potential eines Herbizides durch die Zugabe eines ethoxylierten Pflanzenöls gesteigert werden kann. Durch präzise Empfehlungen für Herbizid-Adjuvant-Mischungen könnten Herbizid-Aufwandmengen und Kosten reduziert werden.

Stichwörter: Biologisch abbaubare Adjuvantien, Dosis-Wirkungsversuche, reduzierte Aufwandmengen

1. Introduction

Almost all herbicide formulations contain adjuvants. They act as important tools to improve physical aspects of herbicide application and/or to enhance biological efficacy (GREEN and FOY, 2000). Adjuvants are "substances added to a pesticide formulation or to the spray tank to modify pesticide activity or application characteristics" (STEPHENSON et al., 2006). There are two main adjuvant types: (1) Utility adjuvants or tank-mix modifiers which, for example, are able to adjust or buffer pH or reduce spray drift, and (2) activator adjuvants which enhance herbicide activity for example by wetting the leaf surface or softening cuticular waxes (HAZEN, 2000). Seed or vegetable oil derivatives can be classified as surfactants which again can be counted to the type of activator adjuvants. Modified vegetable oils represent a group of biodegradable adjuvants (CORNISH et al., 1993) which are proposed to be as effective as petroleum oils (ROBINSON and NELSON, 1975). Due to the fact that this group of adjuvants is not phytotoxic, environmental friendly and enhances herbicide efficacy, it is interesting for pesticide formulations (HAEFS et al., 2002). Though various research on seed oil adjuvants for herbicides was conducted, their mode of action is still not completely clear. However, it is known that seed oils are poor solvents for epicuticular waxes, but are able to impregnate the wax (GAUVRIT and CABANNE, 1993). This might lead to modifications of the physical properties of the epicuticular waxes and to an increased fluidity (GAUVRIT and CABANNE, 1993). In an earlier study, MANTHEY and NALEWAJA (1992) claimed that a solubilization of epicuticular waxes might also be a reason for an enhanced uptake of active ingredients (a.i.). Furthermore, oils possess the ability to penetrate into the cuticle and, hence, this could be related to a transfer of a.i. into plants (GAUVRIT and CABANNE, 1993). For agriculture, the enhancement of herbicide action by the addition of adjuvants could reduce herbicide application rates. Although the usage of herbicides is adopted by most farmers, the interest in reduced application rates constantly grows (BLACKSHAW et al., 2006). Reducing herbicide amounts while still maintaining an adequate efficacy against weeds has a great importance in plant protection to decrease costs, environmental impacts of chemical plant protection and losses in crop yield caused by herbicide damages. However, long time studies proved that a constant reduction of the application rate by 50 % leads to a gradual increase of weed infestation and selection of weed species which are difficult to control (PALLUTT and MOLL, 2008). Furthermore, the risk of selecting herbicide resistant weeds increases due to a reproduction of species which were not completely controlled. Hence, the population density can grow over the years, leading to an increased gene pool in which resistant species will be more likely (BLACKSHAW et al., 2006). In the present study, we investigated the potency of several ethoxylated seed oil adjuvants, based on soybean (ESBO), linseed (ELO), high oleic sunflower (EHOSO) and safflower oil (ESO). For this purpose, dose response studies were conducted with formulated herbicides [Monitor[®], Monsanto (800 g/kg sulfosulfuron); Oratio[®] 40 WG, Syngenta (400 g/kg carfentrazone-ethyl); MaisTer[®], Bayer CropScience (300 g/kg foramsulfuron, 10 g/kg iodosulfuron-methyl-sodium)]. Adjuvants, which were recommended for those herbicides served as standards. In this study, *Abutilon theophrasti* Medik. (velvetleaf), a difficult to control annual weed, served as test species. Velvetleaf belongs to the family of *Malvaceae* and reduces crop yields by competing for water and nutrient supply, shading of the cultivar and release of allelopathic compounds (HAENSEL, 2005). In the USA, *A. theophrasti* causes huge problems in soybean, cotton, and maize, whereas in Germany difficulties occur mainly in sugar beet because there the herbicides mostly are ineffective against this weed (MEINLSCHMIDT, 2006). The aim of the present study was to compare the potency of the ethoxylated seed oils with the standard adjuvant formulations on the efficacy of herbicides.

2. Materials and methods

2.1 Plant material

Seeds of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*; Herbiseed, UK) were pre-germinated in plastic pots (11 x 11 x 6 cm) filled with vermiculite (2-3 mm) in a greenhouse (25/20 °C, additional light (~ 122 µmol/m²/s for 12h) for 5-6 days until cotyledons were developed. Pre-cultivated seedlings were transferred into paper pots (8 x 8 cm) filled with a compost soil-sand mixture (2:1 v/v) and cultivated under the described conditions. Plants were watered daily with tap water. No water was applied to plants for at

least 24 hours after application of herbicides. All plants were completely randomized with four replicates.

2.2 Herbicide and adjuvant application

The seed oil adjuvants investigated in this study contained ten ethylene oxide units and belong to the class of non-ionic surfactants. Their chemical structure is based on an ethoxylated triacylglycerid with a varying composition of fatty acids which have different saturation degrees (Tab. 1).

Tab. 1 Fatty acid composition of the ethoxylated seed oil adjuvants according to BOCKISCH (1993).

Tab. 1 Fettsäurezusammensetzung der ethoxylierten Pflanzenöl-Adjuvantien nach BOCKISCH (1993).

Fatty acid distribution (only C18)

Adjuvant	% Stearic acid (C18:0)	% Oleic acid (C18:1)	% Linolic acid (C18:2)	% Linolenic acid (C18:3)
Ethoxylated soybean oil (ESBO)	~ 4	~ 21	~ 56	~ 8
Ethoxylated high oleic sunflower oil (EHOSO)	< 5	>80	<5	traces
Ethoxylated safflower oil (ESO)	~ 2-3	~ 15	> 75	traces
Ethoxylated linseed oil (ELO)	~ 4	~ 22	~ 16	~ 52

ESBO, EHOSO, ESO and ELO were tested in combination with the formulated herbicides displayed in Table 2. Therefore, they were doted in a concentration of 1 l/ha to nine concentrations of each herbicide solution (dose ranges are given in Tab. 2). As reference, herbicide solutions were applied alone and in combination with their recommended adjuvants. Application rate of recommended adjuvants was used as displayed in Table 2. Untreated velvetleaf plants served as control. Every treatment was replicated four times. Plants were treated when the second true leaf was completely developed. Application was done with a track sprayer (Aro, Langenthal, Switzerland), which simulated a water volume of 400 l/ha (nozzle: 8004 EVS, Teejet® Spraying Systems Co., Wheaton, IL, USA).

Tab. 2 Table of herbicides and their recommended commercial adjuvants.

Tab. 2 Tabelle der Herbizide mit denen jeweils empfohlenen kommerziellen Adjuvantien.

Herbicide trade name (recommended adjuvant)	Active ingredient (a.i.)	Mode of action	Herbicide dose-range (g a.i. ha ⁻¹)	Adjuvant type	Adjuvant short form	Adjuvant dose (l ha ⁻¹)
Monitor® (Monfast®)	Sulfosulfuron	ALS-inhibitor	0.078 - 20	Polyoxylated fatty alcohols, propylenglycol Organomodified	EFA	0.8
Oratio® 40 WG (Break-Thru® S 240)	Carfentrazone-ethyl	PPO-inhibitor	0.078 - 20	(Polyether) siloxane	PS	0.1
MaisTer® (Mero®)	Foramsulfuron + iodosulfuron	ALS-inhibitor	0.182 - 46.5	Rapeseed oil methyl-ester	ROME	2.0

Data measuring and data analysis

The study was conducted from March to May 2010 with four different experiments, where each herbicide represented one separate experiment. The above ground biomass of plants was harvested three weeks after application, dried at 80 °C for 48 hours and weighed. Biomass data was analyzed with the four-parameter log-logistic model (STREIBIG et al., 1993) (equation 1) using the software package drc of the statistical program R.

$$(1) \quad y = C + \frac{D - C}{1 + e^{b(\ln(x) - \ln(ED_{50}))}}$$

D and C denote the upper and lower limits, respectively, and ED_{50} is the dose where a response half-way between the upper and lower limit is reached. B denotes the slope around the ED_{50} value. When the lower limit of curves was 0, the model was reduced to a three-parameter model ($C=0$). To compare different curves, generated from biomass data of each treatment, the residual sum of squares of the regression analysis was compared and assessed by an F-test for lack-of-fit. In weed control studies response levels at ED_{90} , the dose causing 90 % weed control, might be of higher interest (KNEZEVIC et al., 2007) compared to the ED_{50} value. According to equation 3 (RITZ and STREIBIG, 2005, modified), ED_{90} values were calculated

$$(2) \quad ED_x = ED_{50} [x/(100-x)]^{1/b}$$

To compare the different efficacies of herbicide-adjuvant combinations, relative potencies (r) were calculated for parallel curves according to equation 4 (RITZ et al., 2006):

$$(3) \quad r_A = \frac{x_B}{x_A}$$

X is the herbicide dose, B the reference spray solution, i.e. the herbicide without adjuvant, and A the herbicide-adjuvant-mixture. As r_A is not constant across response levels in case of non-parallel curves, r_A -values were only evaluated for pre-set response levels (ED_{50} and ED_{90} ; CABANNE et al., 1998)

3. Results

3.1 Sulfosulfuron

The test for lack-of-fit for the sulfosulfuron data yielded a p-value of 0.33 which is not significant at 5 % and hence, the nonlinear regression model provided an acceptable description of observed data (Fig. 1). All additives decreased the amount of sulfosulfuron required to achieve a 50 % reduction in dry weight compared to sulfosulfuron alone. However, the differences were not significant. The recommended adjuvant EFA showed the best effect on sulfosulfuron performance compared to the other adjuvants and decreased the ED_{50} of the herbicide by 19-fold. For the adjuvants ELO, EHOSO and ESBO, the efficacy enhancing effect was less pronounced with an average reduction of the ED_{50} of sulfosulfuron by 6.7-fold (± 0.7). ESO decreased the ED_{50} by 3.5-fold and, hence, was the least effective adjuvant. Regarding the ED_{90} values, all adjuvants reduced the necessary amount of sulfosulfuron. Sulfosulfuron mixed with ELO showed the best efficacy on velvetleaf biomass compared to all other treatments. It was 9.0-fold more effective than EFA and on average 4.4-fold (± 0.9) more effective than ESO, EHOSO and ESBO. With an application rate of 91 g a.i./ha for a 90 % control of velvetleaf, sulfosulfuron mixed with EFA was the weakest herbicide-adjuvant combination.

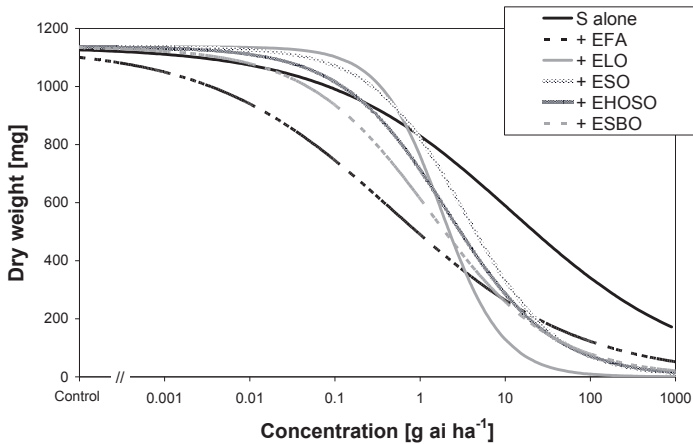


Fig. 1 Modelled dose-response curves of sulfosulfuron (S) applied with and without adjuvant to *Abutilon theophrasti*. Recommended field rate for sulfosulfuron: 20 g a.i./ha.

Abb. 1 Modellierte Dosis-Wirkungskurven für Sulfosulfuron (S) mit und ohne Adjuvant appliziert auf *Abutilon theophrasti*. Empfohlene Aufwandmenge für Sulfosulfuron: 20 g a.i./ha.

3.2 Carfentrazone-ethyl

With a p-value of 0.86, the nonlinear regression model for carfentrazone-ethyl described the observed data quite well (Fig. 2). The ED_{50} of carfentrazone-ethyl could be reduced by the addition of adjuvants, whereas PS, EHOSO and ESBO showed the best efficacy on carfentrazone-ethyl reducing the ED_{50} by 5-fold (± 0). ELO and ESO decreased the amount of carfentrazone-ethyl required to achieve the ED_{50} by 1.4- and 1.8-fold, respectively, compared with carfentrazone-ethyl alone and, thus, were less effective than the other adjuvants. Comparing ED_{90} values showed that at this response level only ESO distinctly enhanced the efficacy of carfentrazone-ethyl ($rED_{90} = 2.0$). Moreover, the addition of PS and ELO even increased the amount of carfentrazone-ethyl needed to achieve a 90 % response by 1.7- and 2.9-fold, respectively.

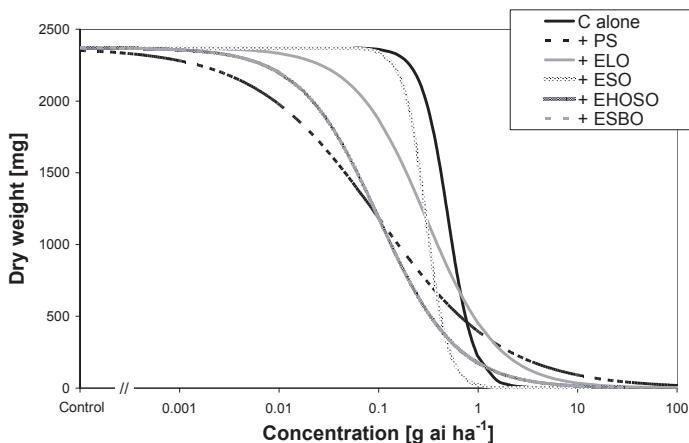


Fig. 2 Modelled dose-response curves of carfentrazone-ethyl (C) applied with and without adjuvant to *Abutilon theophrasti*. Recommended field rate for carfentrazone-ethyl: 20 g a.i./ha.

Abb. 2 Modellierte Dosis-Wirkungskurven für Carfentrazon-ethyl (C) mit und ohne Adjuvant appliziert auf *Abutilon theophrasti*. Empfohlene Aufwandmenge für Carfentrazon-ethyl: 20 g a.i./ha.

3.3 Foramsulfuron & iodosulfuron (FI)

Plotted FI data showed, that the nonlinear regression model fitted the data ($p = 0.07$; Fig. 3). It was observed, that all adjuvants significantly decreased the amount of FI needed to get a 50 % reduce of biomass by 5-fold (± 1.5). Furthermore, ELO was even more effective than the recommended ROME ($rED_{50} = 1.3$). Regarding the ED_{90} , all adjuvants reduced biomass by 96 % (± 1.7) compared with FI applied alone. However, this reduction was not significant. ELO was also the most effective adjuvant ($rED_{90} = 44.2$), followed by ESBO ($rED_{90} = 38.1$) and ESO ($rED_{90} = 32.1$). EHOSO represented the least effective seed oil (rED_{50} and $rED_{90} = 2.6$ and 16.7) in combination with FI.

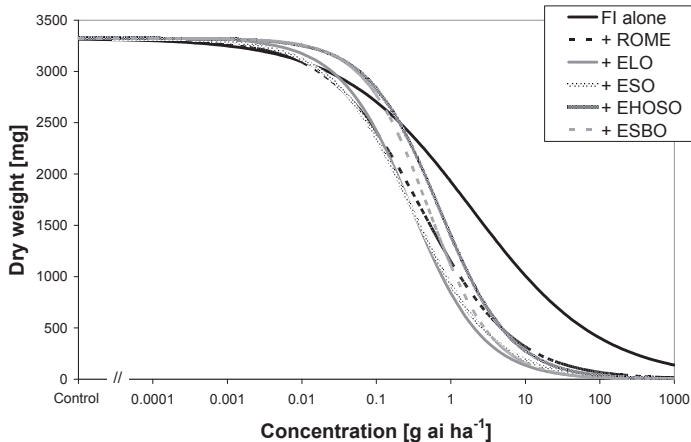


Fig. 3 Modelled dose-response curves of foramsulfuron & iodosulfuron (FI) applied with and without adjuvant to *Abutilon theophrasti*. Recommended field rate for sulfosulfuron: 46.5 g a.i./ha.

Abb. 3 Modellerte Dosis-Wirkungskurven für Foramsulfuron & Iodosulfuron (FI) mit und ohne Adjuvant appliziert auf *Abutilon theophrasti*. Empfohlene Aufwandmenge für FI: 46.5 g a.i./ha.

4. Discussion

4.1 Improving herbicide efficacy with seed oil adjuvants

Generally, in this study the efficacy of every herbicide was improved after adding one of the seed oil adjuvants. The fact that modified seed oils improve herbicide efficacy is already known and was reviewed over 20 years ago by GAUVRIT and CABANNE (1993). An increased spreading of spray droplets on target plants and an enhanced penetration of active ingredients into leaves seem to be the reasons for the herbicide enhancing action of seed oils (LIU, 2004). Since many oil-based adjuvants act well as penetration enhancers, it can be assumed, that the herbicide enhancing effect of seed oil adjuvants can be attributed mainly to this mechanism (STOCK and BRIGGS, 2000).

4.2 ELO, ESO, EHOSO and ESBO and their potential on reducing herbicide application rates

In this study, ELO demonstrated the best efficacy in combination with the sulfonylureas, whereas ESO was most effective with carfentrazone-ethyl. Since it is known that the efficacy of sulfonylureas can be reduced by precipitation within a few hours after application (RUSSELL et al., 2002), an increased rainfastness of those herbicides might have been achieved by the addition of the ethoxylated linseed oil in this study. In an experiment conducted by HUNSCHE and NOGA (2008), it was proved that ethoxylated linseed oils showed a better effect on rainfastness of the fungicide mancozeb compared to ethoxylated soybean oils. ESBO acted 2-fold (± 0.5) better compared to the recommended adjuvants. Thus, ESBO could present an alternative adjuvant for a widespread use. However, EHOSO demonstrated the least pronounced effect in combination with all herbicides and hence, might not be suitable as adjuvant for herbicides. Furthermore, it can be concluded, that a higher content of unsaturated fatty acids affected the herbicidal efficacy in a positive way. Those results imply that an

addition of ethoxylated seed oils could be an approach to reduce herbicide application rates while still maintaining a sufficient weed control. However, the problem is that reducing the application rate, which is recommended by chemical companies, would result in a loss of the companies guarantee. Moreover, results of an experiment conducted by ZHANG et al. (2000), demonstrated that the addition of adjuvants to below-labeled herbicide rates did not show any improvement of herbicide efficacy. Thus, the general concept of increasing the uptake of reduced herbicide rates with the help of adjuvants to achieve an adequate weed control might be refuted.

4.3 Conclusion

Only with an appropriate adjuvant, herbicides can develop their maximum efficacy – even at lower than recommended doses. Ethoxylated seed oils contain a high potential as biodegradable adjuvants for herbicides, whereas further investigations on additional weeds and field trials have to be conducted.

Acknowledgements

We thank Cognis (now part of BASF) for providing the seed oil adjuvants and funding of this work and Sybille Berger and Heike Popovits for their indispensable help.

References

- BLACKSHAW, R.E., J. O'DONOVAN, K.N. HARKER, G.W. CLAYTON AND R.N. STOUGAARD, 2006: REDUCED HERBICIDE DOSES IN FIELD CROPS: A REVIEW. *WEED BIOLOGY AND MANAGEMENT* **6**, 10-17.
- BOCKISCH, M., 1993: NAHRUNGSFETTE UND -ÖLE. IN: KNEISSLER, N. (ED.), 1993: HANDBUCH DER LEBENSMITTELTECHNOLOGIE. ULMER, STUTTGART.
- CABANNE, F., J.C. GAUDRY AND J.C. STREIBIG, 1998: INFLUENCE OF ALKYL OLEATES ON EFFICACY OF PHENMEDIPHAM APPLIED AS AN ACETONE: WATER SOLUTION ON *GALIUM APARINE*. *WEED RESEARCH* **39**, 57-67.
- CORNISH, A., N.S. BATTERSBY AND R.J. WATKINSON, 1993: ENVIRONMENTAL FATE OF MINERAL, VEGETABLE AND TRANSESTERIFIED VEGETABLE OILS. *PESTICIDE SCIENCE* **37**, 173-178.
- GAUVRIT, C. AND F. CABANNE, 1993: OILS FOR WEED CONTROL: USES AND MODE OF ACTION. *PESTICIDE SCIENCE* **37**, 147-153.
- GREEN, J.M. AND C.L. FOY, 2000: ADJUVANTS: TEST DESIGN, INTERPRETATION, AND PRESENTATION OF RESULTS. *WEED TECHNOLOGY* **14**, 819-825.
- HAEFS, R., M. SCHMITZ-EIBERGER, H.-G. MAINX, W. MITTELSTAEDT AND G. NOGA, 2002: STUDIES ON A NEW GROUP OF BIODEGRADABLE SURFACTANTS FOR GLYPHOSATE. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **58**, 825-833.
- HAENSEL, E., 2005: BEKÄMPFUNG, KONKURRENZ UND DIVERSITÄT VON *ABUTILON THEOPHRASTI* MED. (LINDENBLÄTTRIGE SCHÖNIMALVE) IN ZUCKERRÜBEN. ONLINE PUBLICATION: [HTTP://HSS.ULB-BONN.DE/DISS_ONLINE](http://hss.ulb-bonn.de/diss_online).
- HAZEN, J.L., 2000: ADJUVANTS: TERMINOLOGY, CLASSIFICATION, AND CHEMISTRY. *WEED TECHNOLOGY*, **14**, 773-784.
- HUNSCHE, M. AND G. NOGA, 2008: SEED OIL ETHOXYLATE ADJUVANTS AND THEIR INFLUENCE ON RETENTION AND RAINFASTNESS OF THE CONTACT FUNGICIDE MANCOZEB. *ACTA HORTICULTURAE* **772**, 403-406.
- KNEZEVIC, S.Z., J. C. STREIBIG AND C. RITZ, 2007: UTILIZING R SOFTWARE PACKAGE FOR DOSE-RESPONSE STUDIES: THE CONCEPT AND DATA ANALYSIS. *WEED TECHNOLOGY* **21**, 840-848.
- LIU, Z., 2004: EFFECTS OF SURFACTANTS ON FOLIAR UPTAKE OF HERBICIDES – A COMPLEX SCENARIO. *COLLOIDS AND SURFACES* **35**, 149-153.
- MANTHEY, F. AND J. NALEWAJA, 1992: RELATIVE WAX SOLUBILITY AND PHYTOTOXICITY OF OIL IN GREEN FOXTAIL. IN: FOY, C. (ED.), 1992: ADJUVANTS FOR AGRICHEMICALS, PP. 463-471. CRC PRESS, BOCA RATON.
- MEINLSCHMIDT, E., 2006: *ABUTILON THEOPHRASTI* MED. AUF DEM ACKERLAND IN SACHSEN – ERGEBNISSE DES MONITORINGS AUS DEN JAHREN 2000-2004 UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION* **492**, 487-492.
- PALLUTT, B. AND E. MOLL, 2008: LANGZEITWIRKUNG REDUZIERTER HERBIZIDAUFWANDMENGEN AUF VERUNKRAUTUNG UND KORNERTRAG VON WINTERGETREIDE IN EINEM 12JÄHRIGEN DAUERVERSUCH. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION* **21**, 501-508.
- RITZ, C. AND J.C. STREIBIG, 2005: BIOASSAY ANALYSIS USING R. *JOURNAL OF STATISTICAL SOFTWARE* **12**, 1-22.
- RITZ, C., N. CEDERGREEN, J.E. JENSEN AND J.C. STREIBIG, 2006: RELATIVE POTENCY IN NONSIMILAR DOSE-RESPONSE CURVES. *WEED SCIENCE* **54**, 407-412.
- ROBINSON, R.G. AND W.W. NELSON, 1975: VEGETABLE OIL REPLACEMENTS FOR PETROLEUM OIL ADJUVANTS IN HERBICIDE SPRAYS. *ECONOMIC BOTANY* **29**, 146-151.
- RUSSELL, M.H., J.L. SALADINI AND F. LICHTNER, 2002: SULFONYLUREA HERBICIDES. *PESTICIDE OUTLOOK* **13**, 166-173.

- STEPHENSON, G.R., I.G. FERRIS, P.T. HOLLAND AND M. NORDBERG, 2006: GLOSSARY OF TERMS RELATING TO PESTICIDES (IUPAC RECOMMENDATIONS 2006). PURE AND APPLIED CHEMISTRY **78**, 2075-2154.
- STOCK, D. AND G. BRIGGS, 2000: PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF ADJUVANTS: VALUES AND APPLICATIONS. WEED TECHNOLOGY **14**, 798-806.
- STREIBIG, J.C., M. RUDEMO AND J.E. JENSEN, 1993: DOSE-RESPONSE CURVES AND STATISTICAL METHODS. IN: STREIBIG, J.C. AND P. KUDSK (EDS.), 1992: HERBICIDE BIOASSAYS, PP. 29-55. CRC PRESS, BOCA RATON.
- ZHANG, J., S.E. WEAVER AND A.S. HAMILL, 2000: RISKS AND RELIABILITY OF USING HERBICIDES AT BELOW-LABELED RATES. WEED TECHNOLOGY **14**, 106-115.

Cadou FORTE – ein neues Herbizid zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Getreide

Cadou FORTE – a new herbicide in cereals with efficacy against grasses and dicots

Dirk Kerlen* & Peter Naunheim

Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Str. 4a, D-40764 Langenfeld

*Korrespondierender Autor, dirk.kerlen@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.071

Zusammenfassung

Cadou FORTE (Flufenacet; Flurtamone; Diflufenican) ist ein neues Getreideherbizid zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti* L.), Einjährigem Rispengras (*Poa annua* L.) und einem breiten Spektrum an dikotylen Unkräutern. Das Produkt kann in den Kulturen Winterweichweizen, Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale und Dinkel im Herbst im Voraufbau bzw. Nachaufbau eingesetzt werden. Dieser Beitrag befasst sich mit der Auswertung mehrjähriger Versuche hinsichtlich der Wirkung von Cadou FORTE beim Herbsteinsatz.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, Diflufenican, Flufenacet, Flurtamone, Getreideherbizide, *Poa annua*, Unkrautbekämpfung

Summary

Cadou FORTE (flufenacet; flurtamone; diflufenican) is a new cereal herbicide with efficacy against blackgrass (*Alopecurus myosuroides*), loose silky-bentgrass (*Apera spica-venti* L.), annual meadow-grass (*Poa annua* L.) and a broad spectrum of dicot weeds. Cadou FORTE can be used in winter wheat, winter barley, winter rye, winter triticale and spelt for pre and post emergence application in autumn. This publication focuses on efficacy trials from three years of autumn application with Cadou FORTE.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, cereal herbicide, diflufenican, flufenacet, flurtamone, *Poa annua*, weed control

1. Einleitung

Mit der Einführung von Cadou (Flufenacet) und Herold WG (Flufenacet; Diflufenican) im Jahr 1998/1999 stehen dem deutschen Pflanzenschutzmittelmarkt wichtige Bodenherbizide zur Bekämpfung von Ungräsern wie Acker-Fuchsschwanz, Gemeinem Windhalm und Einjährigem Rispengras zur Verfügung. Im Jahre 2009 wurde erstmals mit Bacara FORTE (Flufenacet; Flurtamone; Diflufenican) eine Dreierkombination mit Flufenacet zur Bekämpfung von Gemeinem Windhalm und Einjährigem Rispengras im deutschen Pflanzenschutzmarkt zugelassen. Die mit Bacara Forte applizierte Flufenacet-Menge reicht nicht für eine ausreichende Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz aus. Cadou FORTE hingegen, das sich im Zulassungsprozess befindet, ist als Produkt gegen Acker-Fuchsschwanz und Unkräuter konzipiert.

Tab. 1 Anwendungsgebiete von Cadou FORTE mit beantragter Zulassung.

Tab. 1 Application range of Cadou FORTE with submitted registration.

Anwendung 001 - Wirkung von Cadou FORTE gegen:

- Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Gemeiner Windhalm (APESV), Einjähriges Rispengras (POAAN)
- Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter

in Winterweichweizen, Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale und Dinkel nach einmaliger Applikation von 1,0 l/ha im Voraufbau Herbst, BBCH Kultur 00 - 09

Anwendung 002 - Wirkung von Cadou FORTE gegen:

- Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Gemeiner Windhalm (APESV), Einjähriges Rispengras (POAAN)
- Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter

in Winterweichweizen, Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale und Dinkel nach einmaliger Applikation von 1,0 l/ha im Nachaufbau Herbst, BBCH Kultur 10 - 29

Cadou FORTE enthält 240 g/l Flufenacet, 120 g/l Flurtamone und 90 g/l Diflufenican und ist als Suspensionskonzentrat (SC) formuliert. Der Schwerpunkt der Wirkung von Cadou FORTE wird über den Boden (Keimwurzel, Hypokotyl) generiert. Bei aufgelaufenen Unkräutern findet zusätzlich eine Wirkung über Blattaufnahme statt. Cadou FORTE bekämpft neben den Ungräsern Acker-Fuchsschwanz, Gemeinem Windhalm und Einjährigem Rispengras ein breites Spektrum an dikotylen Unkräutern. Die Zulassung für das Produkt Cadou FORTE wurde für den deutschen Pflanzenschutzmittelmarkt zur Herbstapplikation im Voraufbau und Nachaufbau beantragt. Die beantragten Anwendungsgebiete können der Tabelle 1 entnommen werden. Anhand nachstehender Versuchsergebnisse soll der Einsatz von Cadou FORTE in der Herbstanwendung diskutiert werden.

2. Material und Methoden

Cadou FORTE wird seit dem Herbst 2009 in Feldversuchen in Deutschland getestet. Der Schwerpunkt der angelegten Versuche lag in der Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz, gegen Gemeinen Windhalm, gegen Einjähriges Rispengras und gegen einjährige zweikeimblättrige Unkräuter. Die Versuche wurden auf Praxisflächen angelegt. Die Durchführung der Versuche erfolgte nach EPPO-Vorgaben, im Speziellen kam die Richtlinie PP 1/93 (3) „Efficacy evaluation of herbicides“ zur Anwendung. Alle Versuche wurden in Form von randomisierten Blockanlagen mit einer Parzellengröße von mindestens 12,5 m² mit drei bzw. vier Wiederholungen durchgeführt. Die Applikationen erfolgten entsprechend der geprüften Indikationen im Herbst im Vor- und Nachaufbau der Unkräuter und Ungräser zum Kulturstadium BBCH 00 bis BBCH 27 des Wintergetreides. Bonitiert wurde nach EPPO-Vorgaben sowohl die Wirkung auf Unkräuter und Ungräser als auch die Selektivität in der Kultur. Zur Blüte der Ungräser (BBCH 61-69) wurde eine abschließende Bonitur auf Ungraswirkung durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Wirkung von Cadou FORTE gegen Acker-Fuchsschwanz (ALOMY)

In den Versuchsjahren 2009 und 2010 wurde in 12 Versuchen im Winterweichweizen die Leistung von Cadou FORTE gegen Acker-Fuchsschwanz bei Applikation von 1,0 l/ha im Voraufbau bewertet. Das Vergleichsmittel 1 (VGM1) wurde zum gleichen Zeitpunkt wie Cadou FORTE mit einer Aufwandmenge von 0,6 l/ha appliziert. Wie aus der Abbildung 1 zu entnehmen ist, wurde bei einem durchschnittlichen Befall mit Acker-Fuchsschwanz von 423 Ähren pro qm ein Wirkungsgrad von durchschnittlich 86 % bei Cadou FORTE und von durchschnittlich 81 % beim Vergleichsmittel erreicht. Die zum Teil erheblichen Streuungen von 60 % bis 100 % Wirkung bei Cadou FORTE und 43 % bis 100 % Wirkung beim Vergleichsmittel können auf schlechte Applikationsbedingungen für Bodenherbizide zurückgeführt werden. Hierfür waren vor allem trockene Applikationsbedingungen verantwortlich.

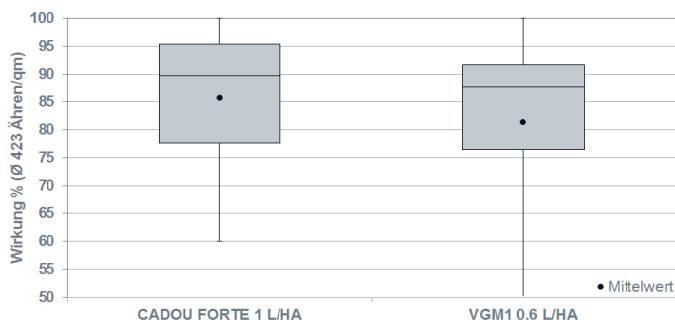


Abb. 1 Acker-Fuchsschwanzleistung von Cadou FORTE im Voraufbaueinsatz im Herbst (n = 12; Deutschland Saison 2010 und 2011).

Fig. 1 Efficacy of Cadou FORTE against blackgrass in pre-emergence application in autumn (n = 12; Germany season 2010 and 2011).

Bei der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz im Nachauflauf Herbst wurden mit Cadou FORTE in den Jahren 2009 bis 2011 26 Versuche in Winterweichweizen und Wintergerste bewertet. Die Applikation erfolgte vom Kulturstadium BBCH 10 bis 27 mit einer Aufwandmenge von 1,0 l/ha Cadou FORTE und 0,6 l/ha Vergleichsmittel 1. Wie der Abbildung 2 zu entnehmen ist, lag der durchschnittliche Befall bei 327 Ähren pro qm. Cadou FORTE erreichte eine Wirksamkeit von 92 % und das Vergleichsmittel von 91 %. Vergleicht man die Streuung der Ergebnisse um den Median, kann man bei Cadou FORTE eine geringere Streuung im 50 % Quantil feststellen.

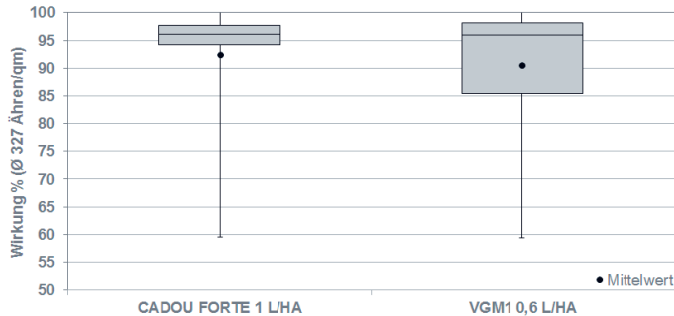


Abb. 2 Acker-Fuchsschwanzleistung von Cadou FORTE im Nachauflaufeinsatz im Herbst (n = 26; Deutschland Saison 2009 bis 2011).

Fig. 2 Efficacy of Cadou FORTE against blackgrass in post-emergence application in autumn (n = 26; Germany season 2009 to 2011).

Insgesamt wurden wiederum große Streubreiten sowohl für Cadou FORTE als auch für das Vergleichsmittel festgestellt. Sie lagen im Bereich von 60 bis 100 % bei Cadou FORTE und von 59 bis 100 % beim Vergleichsmittel.

3.2 Wirkung von Cadou FORTE gegen Gemeinen Windhalm (APESV)

In 21 Wirkungsversuchen der Jahre 2009 und 2010 wurde die Leistung von Cadou FORTE gegen den Gemeinen Windhalm sowohl im Voraufbau als auch im Nachauflauf Herbst bewertet. In Abbildung 3 wurden zur Vereinfachung die Anwendungen Voraufbau und Nachauflauf zusammengefasst. Cadou FORTE wurde hier mit einer Aufwandmenge von 1,0 l/ha und das Vergleichsmittel 1 mit 0,6 l/ha im Winterweichweizen eingesetzt. Dies geschah sowohl im Voraufbau als auch im Nachauflauf im Herbst. Mit einer durchschnittlichen Wirkung von 100 % sowohl von Cadou FORTE als auch vom Vergleichsmittel wurden sehr gute Wirkungsgrade erreicht. Bei Cadou FORTE wurde keine Streuung der Versuchsergebnisse beobachtet, beim Vergleichsmittel 1 wurde eine geringe Streuung im Bereich von 98 bis 100 % Wirkung beobachtet.

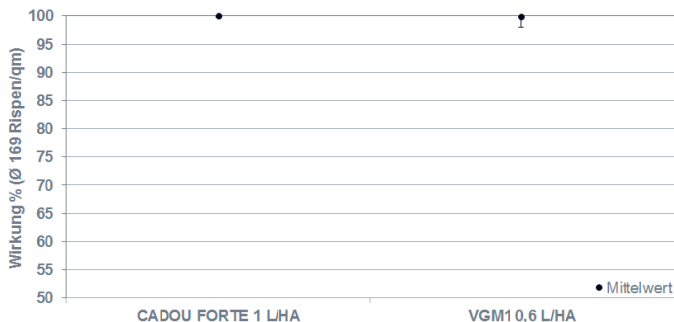


Abb. 3 Wirkung gegen Gemeiner Windhalm von Cadou FORTE im Vor- und Nachauflaufeinsatz im Herbst (n = 21; Deutschland Saison 2009 und 2010).

Fig. 3 Efficacy of Cadou FORTE against silky-bentgrass in pre- and post-emergence application in autumn (n = 21; Germany season 2009 and 2010).

3.3 Wirkung von Cadou FORTE gegen Einjähriges Rispengras (POAAN)

In 14 Wirkungsversuchen der Jahre 2009 und 2010 wurde die Leistung von Cadou FORTE gegen das Einjährige Rispengras sowohl im Voraufbau als auch im Nachaufbau Herbst bewertet. In Abbildung 4 wurden zur Vereinfachung die Anwendungen Voraufbau und Nachaufbau zusammengefasst. Cadou FORTE wurde hier mit einer Aufwandmenge von 1,0 l/ha und das Vergleichsmittel 1 mit 0,6 l/ha im Winterweichweizen eingesetzt. Dies geschah sowohl im Voraufbau als auch im Nachaufbau Herbst. Mit einer durchschnittlichen Wirkung von 99 % von Cadou FORTE und 100 % vom Vergleichsmittel 1 wurden sehr gute Wirkungsgrade erreicht. Die Streuung der Versuchsergebnisse lag beim Cadou FORTE zwischen 96 und 100 % und beim Vergleichsmittel bei 98 und 100 %.



Abb. 4 Leistung Einjähriges Rispengras von Cadou FORTE im Vor- und Nachaufbaueinsatz im Herbst (n = 14; Deutschland Saison 2009 und 2010).

Fig. 4 Efficacy of Cadou FORTE against annual meadow-grass in pre- and post-emergence application in autumn (n = 14; Germany season 2009 and 2010).

3.4 Wirkung von Cadou FORTE gegen zweikeimblättrige Unkräuter

In 68 Wirkungsversuchen der Jahre 2009 bis 2011 wurde die Leistung von 1,0 l/ha Cadou FORTE gegen Unkräuter in der Herbstapplikation im Winterweichweizen und Wintergerste im Vor- und Nachaufbau getestet. Wie aus der Abbildung 4 zu ersehen ist, werden alle wichtigen Unkräuter im Getreide gut bis sehr gut erfasst. Aufgetragen wurden alle Ergebnisse mit zwei und mehr Nennungen. Mit Wirkungsgraden über 95 % wurden folgende Unkräuter erfasst: Ausfallraps (*Brassica napus* L. ssp. *napus*; BRSNW; n=5), Gemeines Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris* (L.) MEDICUS; CAPBP; n=6), Schlitzblättriger Storchschnabel (*Geranium dissectum* L.; GERDI; n=2), Weicher Storchschnabel (*Geranium molle* L.; GERMO; n=2), Purpurrote Taubnessel (*Lamium purpureum* L.; LAMPU; n=15), Echte Kamille (*Matricaria chamomilla* L.; MATCH; n=34), Duftlose Kamille (*Matricaria inodora* L.; MATIN; n=4), Kamille-Arten (*Matricaria spec.*; MATSS; n=2), Acker-Vergissmeinnicht (*Myosotis arvensis* (L.) HILL; MYOAR; n=5), Klatsch-Mohn (*Papaver rhoeas*; PAPRH; n=9), Vogel-Sternmiere (*Stellaria media* (L.) VILL; STEME; n=18), Feld-Ehrenpreis (*Veronica arvensis* L.; VERAR; n=7), Efeublättriger Ehrenpreis (*Veronica hederifolia* (L.); VERHE; n=21), Persischer Ehrenpreis (*Veronica persica* POIRET; VERPE; n=13) und Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*; VIOAR; n=22). Mit Wirkungsgraden zwischen 90 und 95 % wurde das Kletten-Labkraut (*Galium aparine* L.; GALAP; n=33) gut erfasst. Die Streuungsbreite von 57 % bis 100 % kommt hier durch die Anwendungen im Voraufbau zustande. Betrachtet man die Nachaufbauanwendung, so kann man wie in Abbildung 6 dargestellt mit höheren Wirkungsgraden rechnen. Hier lagen die Wirkungsgrade sowohl für Cadou FORTE als auch für das Vergleichsmittel bei 98 %. Auch die Streuungsbreite von 85 % bis 100 % war im Gegensatz zu den gesamt bewerteten Versuchen geringer.

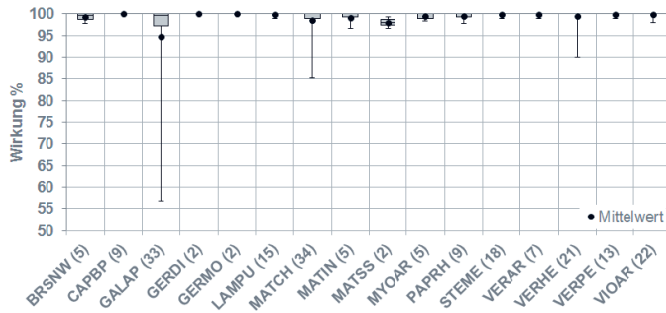


Abb. 5 Wirkung von 1,0 l/ha Cadou FORTE zur Herbstanwendung im Vor- und Nachauflauf gegen Dikotyle (Deutschland; 68 Versuche; 2009 bis 2011).

Fig. 5 Efficacy of 1.0 l/ha Cadou FORTE at pre-and post-emergence autumn application against dicots (Germany; 68 trials; 2009 to 2011).

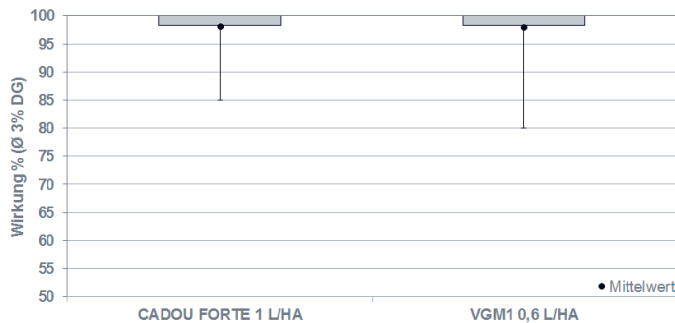


Abb. 6 Wirkung von 1,0 l/ha Cadou FORTE zur Herbstanwendung im Nachauflauf gegen Kletten-Labkraut (Deutschland; 23 Versuche; 2009 bis 2011).

Fig. 6 Efficacy of 1.0 l/ha Cadou FORTE at post-emergence autumn application against cleaver (Germany; 23 trials; 2009 to 2011).

4. Diskussion

Cadou FORTE konnte in den dargestellten Versuchen seine Vorzüglichkeit bei der Bekämpfung des Acker-Fuchsschwanzes, des Gemeinen Windhalmes, des Einjährigen Rispengrases und der zweikeimblättrigen Unkräuter unter Beweis stellen.

Mit einer Anwendung von 1,0 l/ha Cadou FORTE zur Herbstapplikation im Vorauflauf wird der Acker-Fuchsschwanz mit Wirkungsgraden von durchschnittlich 86 % und im Nachauflauf von durchschnittlich 92 % gut erfasst. Im Vergleich zum Vergleichsmittel wurden in beiden Indikationen höhere Wirkungsgrade erreicht.

Bei den berichteten Versuchen wurde keine Selektion zwischen Normal- und Problemstandorten (hoher Acker-Fuchsschwanzbesatz bzw. Resistenzen) unterschieden. Betrachtet man die Aussagen der Beiträge von MENNE und HOGREFE (2012) und MENNE et al. (2012) hinsichtlich der Wichtigkeit des Einsatzes von Flufenacet-Produkten und deren Wirksamkeit im Vergleich zu anderen Bodenherbiziden, kommt man zu dem Schluss, dass Cadou FORTE bei der Wirksamkeit gegen Acker-Fuchsschwanz nach Zulassung zu einem wichtigen Baustein im Resistenzmanagement avancieren wird.

Gegen Gemeinen Windhalm und Einjähriges Rispengras wurden ebenfalls sehr gute Wirkungen erzielt, die auf dem Niveau der bisherigen Standards liegen.

Mit Cadou FORTE eröffnet sich eine hervorragende Alternative zur Bekämpfung von Ungräsern im

Getreidebau, die für eine Vielzahl von Standorten im Besonderen bei der Ausschaltung von Acker-Fuchsschwanz auf Normal- und Problemstandorten neue Leistungsstandards setzt.

Auch der Bekämpfungserfolg gegen zweikeimblättrige Unkräuter bewegt sich auf einem sehr hohen Niveau. Das Kletten-Labkraut wird in 33 Versuchen mit einer Wirkung von über 94,8 % gut bekämpft. Dieser Bekämpfungserfolg reicht für viele Standorte aus, so dass eine Nachbehandlung im Frühjahr häufig nicht erforderlich ist. Weitere bestandesbildende Unkräuter wie z.B. Kamille-Arten, die Vogel-Sternmiere, Ehrenpreis-Arten, die Purpurrote Taubnessel oder das Acker-Stiefmütterchen werden mit der Anwendung von 1,0 l/ha Cadou FORTE im Herbst sicher erfasst. Auch gegen Unkräuter, die in jüngster Zeit stark an Bedeutung gewonnen haben, wie z.B. Storchschnabel-Arten und Klatschmohn, zeigt Cadou FORTE hohe Wirkungsgrade.

Literatur

- EPPO-GUIDELINE PP 1/93 (3): EFFICACY EVALUATION OF HERBICIDES, EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION, SEPTEMBER 2007.
- MENNE H. J. UND C. HOREFE, 2012: IMPACT OF MULTIPLE RESISTANCE MECHANISMS IN BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) POPULATIONS ON THE ACTIVITY OF CEREAL HERBICIDES. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **434**, 65-74.
- MENNE H.J., B. LABER, D. KERLEN AND R. BEFFA, 2012: EFFECTIVENESS OF FLUFENACET IN CONTROLLING RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) – COMPARISON OF GLASSHOUSE AND FIELD TRIAL RESULTS. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **434**, 401- 408.

ADDITION® - Das breit wirksame Herbizid für ein sinnvolles Resistenzmanagement

ADDITION® – The broad efficient herbicide for a reasonable resistance management

Ewald Schenke

Feinchemie Schwebda GmbH, Edmund-Rumpler-Straße 6, D-51149 Köln

Ewald.Schenke@fcs-feinchemie.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.072

Zusammenfassung

Der Einsatz von Getreideherbiziden schon im Herbst ist auf vielen Standorten eine pflanzenbaulich sinnvolle Maßnahme. ADDITION® mit den bekannten Wirkstoffen Diflufenican (40 g/l) und Pendimethalin (400 g/l) ist eine neu zugelassene Kombination zur Unkrautbekämpfung in Winterweichweizen, Wintergerste, Winterroggen und Wintertriticale. Die Anwendung von 2,5 l/ha erfolgt praxisorientiert im frühen Nachauflauf und bietet bisher nicht genutzte Vorteile: Die uneingeschränkte Verträglichkeit unter stark schwankenden Einsatzbedingungen gilt für alle genannten Getreidearten und -sorten. Das breite Wirkungsspektrum gegen zweikeimblättrige Unkräuter deckt in hohem Maße den Bedarf. Die Besonderheit von ADDITION® liegt in einem sich ergänzenden und überlappenden Wirkungsspektrum. Innerhalb dieses überlappenden Wirkungsspektrums wirken Diflufenican und Pendimethalin auf dieselben Unkrautarten mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen an unterschiedlichen Wirkorten. Die HRAC-Einstufung ordnet Diflufenican in die Gruppe F1 und Pendimethalin in die Gruppe K1 ein. Diese unterschiedlichen Wirkungsmechanismen bilden die Grundlage eines artenspezifischen Resistenzmanagements für die von beiden Wirkstoffen erfassten Zielpflanzen. Damit ist ADDITION® aus der Sicht des zunehmend diskutierten Themas Unkrautresistenz ein starker Baustein beim Aufbau langfristig erfolgreicher Abwehrstrategien. Günstige Anwendungsaufgaben ermöglichen eine breite Anwendung von ADDITION®.

Stichwörter: Diflufenican, Getreide, Pendimethalin, Resistenzmanagement, Unkrautbekämpfung

Summary

Early autumn herbicide application in winter cereals is in many areas a reasonable agronomic procedure. ADDITION® with the well-known active ingredients diflufenican (40 g/l) and pendimethalin (400 g/l) is a new combination for weed control in winter wheat, barley, rye and triticale. Early post emergence application of 2.5 l/ha includes these advantages: unrestricted selectivity to various application conditions for all kinds and varieties of winter cereals and wide efficacy spectrum to broad-leaved weeds. The specific feature of ADDITION® is a complementary and overlapping efficacy spectrum. Within the overlapping spectrum diflufenican and pendimethalin affect the same weed varieties with different modes and on different sites of action. HRAC rates diflufenican to group F1 and pendimethalin to group K1. These different modes of action are the basis for variety specific resistance management. According to increasing discussions of weed resistance, ADDITION® is a strong partner to set up a successful long term resistance management. Favorable restrictions are allowing a wide application range of ADDITION®.

Keywords: Cereals, diflufenican, pendimethalin, resistance management, weed control

1. Einleitung

In den Ackerbauregionen Europas ist die Anwendung von Getreideherbiziden eine unverzichtbare Pflegemaßnahme zur Sicherung von Qualität und Quantität des Ertrages. Dazu steht eine bis heute kontinuierlich gestiegene Zahl von Wirkstoffen und Produkten zur Verfügung. Diese Vielfalt erfährt seit einigen Jahren wiederum unerwartete Einschränkungen durch neu auftretende Unkrautresistenzen. Der Auf- und Ausbau von Resistenzstrategien ist aktuell ein wichtiges Werkzeug, Wirkstoffvielfalt und damit die Wirksamkeit des einzelnen Wirkstoffes zu erhalten und zu sichern. Vor diesem Hintergrund bietet die Neukombination altbekannter Wirkstoffe die Möglichkeit, Resistenzstrategien effektiv zu unterstützen. Mit der Zulassung von ADDITION® (Zul.-Nr: 006840-00) steht der Praxis eine solche neue Kombination bewährter Wirkstoffe zur Verfügung.

2. Material und Methoden

Als Material für diese Arbeit dienen Versuchsergebnisse der Feinchemie Schwebda GmbH. Diese Ergebnisse wurden in Wintergetreide im Rahmen der Zulassung erarbeitet, für ADDITION® in den Jahren 2007 und 2008 anhand von 54 Versuchen und für ACTIVUS® in den Jahren 2001 bis 2004 anhand von 52 Versuchen. Solo-Diflufenican Produkte sind in Deutschland derzeit nicht zugelassen. Als Datenquelle wurden hierzu das Biologische Assessment Dossier (2010) zu HURRICANE® und Ergebnisse einer späteren Versuchsserie (vier Versuche 2011) von Makhteshim Agan (U.K.) Ltd. verwendet und teilweise ergänzt durch Daten des von Makhteshim Agan France für LEGACY® erstellten Biologischen Assessment Dossiers (2011).

3. Ergebnisse

3.1 Mehrjährige Versuchsergebnisse zur Kulturverträglichkeit

Alle im Rahmen der Zulassungsversuche in unkrautfreien Beständen durchgeführten Versuche attestieren ADDITION® bei sachgerechter Anwendung eine sehr gute Kulturverträglichkeit in Wintergetreidearten. Die Qualität und Quantität der gemessenen Erträge und Qualitätsparameter wurde nicht beeinträchtigt.

Tab. 1 Erträge der Selektivitätsversuche – Mittelwert/Jahr für 2,5 und 5,0 l/ha ADDITION® und Vergleichsmittel, Deutschland 2006 und 2007.

Tab. 1 Yield Quantity [dt/ha] of phytotoxicity trials – means per year. Effects of 2.5 and 5.0 l/ha ADDITION® and Standard product. Germany 2006 and 2007.

Jahr	Ertrag	U a)	T [l/ha] b)		V [l, kg/ha] c)		n d)
			2,5	5,0	0,5		
2006	[dt/ha]	68,7	69,7	69,4	70,0	12	
	[%]		101	101	102		
2007	[dt/ha]	65,5	68,6	68,5	69,2	8	
	[%]		105	105	106		
Ø e)	[dt/ha]	67,4	69,3	69,1	69,7	20	
	[%]		103	102	103		

a) U = Unbehandelt. b) T = Test-Produkt. c) V = Vergleichsmittel. d) n = Anzahl der Versuche. e) Ø = Mittelwert.

Tab. 2 Tausendkorngewicht (g) der Selektivitätsversuche – Mittelwert / Jahr für 2,5 und 5 l/ha ADDITION® und Vergleichsmittel, Deutschland 2006 und 2007.

Tab. 2 Thousand grain weight [g] – means per year. Phytotoxicity trials. Effects of 2.5 and 5.0 l/ha ADDITION® and Standard product. Germany 2006 and 2007.

Year	TKG e)	U a)	T [l/ha] b)		V [kg/ha] c)		n d)
			2,5	5,0	0,5		
2006	[g]	42,4	42,2	42,8	42,5	12	
	[%]		100	101	101		
2007	[g]	43,1	43,7	44,5	44,9	8	
	[%]		101	103	104		
Ø f)	[g]	42,7	42,8	43,5	43,4	20	
	[%]		100	102	102		

a) U = Unbehandelt. b) T = Test-Produkt. c) V = Vergleichsmittel. d) n = Anzahl der Versuche: e) TKG = 1000-Korn-Gewicht (g). f) Ø = Mittelwert.

3.2 Mehrjährige Versuche zur herbiziden Wirksamkeit

3.2.1 ADDITION® - Wirkungsspektrum und Wirkungsgrad

Die im Rahmen der Zulassung durchgeführten Wirksamkeitsprüfungen zeigen das Wirkungsspektrum von ADDITION® und den durchschnittlichen Wirkungsgrad für die bekämpfbaren Unkrautarten wie z.B. Acker-Stiefmütterchen, Ehrenpreis, Hirtentäschel, Kamille, Klettenlabkraut, Taubnessel, Vogelmiere etc..

Tab. 3 ADDITION®, Wirkungsspektrum und Wirkungsgrad.

Tab. 3 ADDITION®, weed spectrum and efficacy level.

Deutscher Pflanzename	EPPO CODE	Ø Wirkungsgrad	n
Ausfallraps	BRSNN	98	6
Hirtentäschel	CAPBP	100	4
Gemeine Besenrauke	DESSO	100	1
Klettenlabkraut	GALAP	95	14
Stengelumfassende Taubnessel	LAMAM	99	1
Rote Taubnessel	LAMPU	100	8
Echte Kamille	MATCH	93	13
Duftlose Kamille	MATIN	88	1
Klatschmohn	PAPRH	100	4
Gemeines Kreuzkraut	SENUV	100	1
Acker-Gänsedistel	SONAR	100	1
Kohl-Gänsedistel	SONOL	100	1
Vogelmiere	STEME	100	10
Acker-Hellerkraut	THLAR	100	1
Efeublättriger Ehrenpreis	VERHE	100	4
Persischer Ehrenpreis	VERPE	100	5
Acker-Stiefmütterchen	VIOAR	99	12

3.2.2 Wirkungsvergleich

Für einen Wirkungsvergleich mit den in Tabelle 4 angegebenen Aufwandmengen wurden aus den vorliegenden Versuchsergebnissen alle Unkrautarten ausgewählt, für die gemeinsame und für ADDITION® mindestens drei Ergebnisse vorliegen.

Der Wirkungsvergleich zeigt klar eine Überlappung der Wirkungsspektren von Diflufenican und Pendimethalin. Die gefundenen Wirkungsgrade von HURRICANE®, ACTIVUS® und ADDITION® sind in Abbildung 1 wiedergegeben:

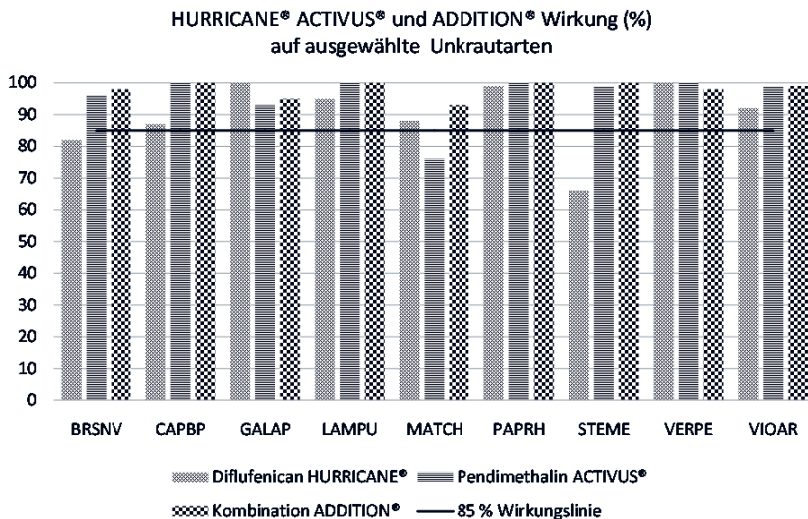


Abb. 1 HURRICANE®, ACTIVUS® und ADDITION®, Wirkung (%) auf ausgewählte Unkrautarten.

Fig. 1 HURRICANE®, ACTIVUS® and ADDITION®, efficacy level (%) on selected weeds.

Die Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Zahl der Versuche, aus denen die jeweiligen Wirkungsgrade als Durchschnittswerte errechnet wurden. Für ADDITION® liegen dazu für jeden Wert

mindestens drei Ergebnisse vor.

Tab. 4 Zahl der Versuche zur Berechnung der Wirkungsgrade.

Tab. 4 *Number of trails for efficacy level calculation.*

	Diflufenican HURRICANE®	Pendimethalin ACTIVUS®	Kombination ADDITION®
BRSNV	2	2	6
CAPBP	2	1	4
GALAP	2	22	14
LAMPU	2	1	8
MATCH	3	13	13
PAPRH	4	1	4
STEME	4	19	10
VERPE	1	2	5
VIOAR	4	13	12

Die gefundenen Wirkungsgrade erlauben eine Einteilung der Unkrautarten in zwei Bereiche:

1. Beide Einzelwirkstoffe erreichen unabhängig voneinander > 85 % Wirkung
2. Dies gilt für: CAPBP, GALAP, LAMPU, PAPRH, VERPE und VIOAR.
3. Die Wirkung nur eines Wirkstoffes erreicht > 85 % Wirkung,
4. der 2. Wirkstoff zeigt eine Teilwirkung:
5. Dies gilt für: BRSNN, MATCH und STEME.

Als Ergebnis bleibt aus dem vorliegenden Datenmaterial festzuhalten: Die Unkrautarten BRSNN, MATCH und STEME werden nur von einem Wirkstoff oder der Kombination sicher erfasst. Im Gegensatz dazu besteht gegenüber CAPBP, GALAP, LAMPU, PAPRH, VERPE und VIOAR eine hohe Wirksamkeit für beide Wirkstoffe unabhängig voneinander.

3.3 Wirkstoffmengen

Die angewendeten Wirkstoffmengen in den zugelassenen Feldaufwandmengen ausgehend von den Soloprodukten im Kombinationsprodukt ADDITION® liegen im Bereich gebräuchlicher Aufwandmengen.

Tab. 4 Vergleich der Wirkstoffmengen zugelassener Feldaufwandmengen.

Tab. 4 *Comparison of active ingredients amount on approved field rates.*

Produkt	Zugelassene Aufwandmenge		
	l/kg/ha	Diflufenican g/ha	Pendimethalin g/ha
HURRICANE®	0,20	100	-
ACTIVUS®	4,00	-	1600
ADDITION®	2,50	100	1000

Die ADDITION® Wirkstoffmengen wurden anhand von Grenzaufwandsversuchen geprüft. Die Wirksamkeitsergebnisse für die ausgewählten Unkrautarten sind in der Abbildung 2 dargestellt:

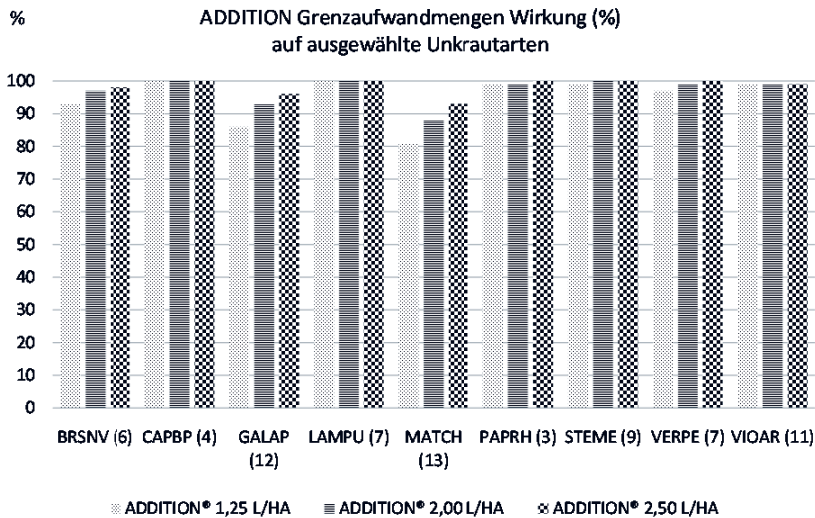


Abb. 2 ADDITION®, Grenzaufwandmengen Wirkung (%) auf ausgewählte Unkrautarten.

Fig. 2 ADDITION®, efficacy level (%) of reduced field rates on selected weeds.

Die geprüften Unkrautarten reagieren unterschiedlich auf Grenzaufwandmengen und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Unkrautarten mit klar erkennbarer Wirkungs dosisbeziehung:
BRSNN, GALAP, MATCH und VERPE.
2. Unkrautarten mit schwacher oder nicht erkennbarer Wirkungs dosisbeziehung:
CAPBP, LAMPU, PAPRH, STEME und VIOAR.

3.4 Wirkstoffklassifikation nach HRAC

Ein entscheidender Vorteil der Wirkstoffkombination liegt in den völlig verschiedenen Wirkungsmechanismen der beiden Einzelwirkstoffe. Das zeigt die Einstufung des Herbicide Resistance Action Committees (HRAC):

Tab. 5 Zuordnung von Herbiziden nach Wirkungsort.

Tab. 5 Classification of herbicides according to site of action.

HRAC Gruppe	Wirkungsmechanismus	Chemische Familie	Wirkstoff	WSSA Gruppe
F1	Bleaching: Inhibition of carotenoid biosynthesis at the phytoene desaturase step (PDS)	Pyridinecarboxamide	Diflufenican	
K1	Microtubule assembly inhibition	Dinitroaniline	Pendimethalin	3

Diflufenican ist der Gruppe F1 zugeordnet. Diese Herbizide greifen in Lichtprozesse ein und hemmen die Pigmentsynthese. Die Wirkung auf die betroffenen Zielpflanzen ist durch das ausgelöste „Bleaching“ erkennbar. Pendimethalin ist der Gruppe K1 zugeordnet. Diese Herbizide behindern den Zellbildungsprozess; sie unterdrücken den Aufbau der Microtubuli und damit die Zellbildung. Diese Mechanismen werden nach HRAC als gering bzw. gering bis mittel resistenzgefährdet eingestuft.

3.5 Resistenzsituation

Tab. 6 Status der von HRAC für Europa angegebenen Resistenzen gegenüber einjährigen zweikeimblättrigen Unkräutern.

Tab. 6 Status of HRAC listed resistances on annual broad-leaved weeds in Europe.

EPPO Code	Land	Jahr	n	Wirkungsmechanismus
STEME	Deutschland	1978	unbekannt	Photosynthese-II-Inhibitor
CAPBP	Polen	1984	501-1000	Photosynthese-II-Inhibitor (C1/5)
STEME	Dänemark	1991	51-100	ALS-Inhibitor (B/2)
PAPRH	Dänemark	2003	6-10	ALS-Inhibitor (B/2)
MATCH	Deutschland	2008	11-50	ALS-Inhibitor (B/2)

Quelle: HEAP (2011)

4. Diskussion

Die erfolgreiche Anwendung von Herbiziden erfordert mehrere, positive Eigenschaften. Eine gute Kulturverträglichkeit ist unverzichtbar. ADDITION® ist bei sachgerechter Anwendung in den mehrjährig geprüften Wintergetreidearten Weichweizen, Gerste, Roggen und Triticale sehr gut kulturverträglich.

Ein Vergleich der Wirkungsspektren von Diflufenican und Pendimethalin im Bereich der einjährigen zweikeimblättrigen Unkräuter zeigt im Wesentlichen zwei Ergebnisse. Erstens überlappen sich die Wirkungsspektren (vgl. Abb. 1: CAPBP, GALAP, LAMPU, PAPRH, VERPE und VIOAR) und zweitens ergänzen sie sich (vgl. Abb. 1: BRSNN, MATCH und STEME). Das Wirkungsspektrum der Kombination beider Wirkstoffe, wie in Tabelle 3 aufgeführt, ist aufgrund der Ergänzung deutlich breiter als das der einzelnen Wirkstoffe. ADDITION® ist z.Zt. als einziges Produkt mit dieser Wirkstoffkombination zugelassen.

Ein weiterer Vorteil dieser Kombination besteht in voneinander unabhängigen Wirkungsmechanismen. Dadurch wird das Risiko neuer Resistenzen für alle Unkrautarten deutlich gesenkt, auf die beide Wirkstoffe gleichermaßen erfolgreich wirken. Von den geprüften Unkrautarten sind hier CAPBP, GALAP, LAMPU, PAPRH, VERPE und VIOAR betroffen. Für diese Unkrautarten besteht damit eine deutlich größere Sicherheit, sie gezielt auszuschalten und so hohe Wirkungsgrade abzusichern. Damit ist eine erfolgreiche Abwehr der von HRAC genannten Resistenzen zumindest für CAPBP und PAPRH möglich.

Die Resistenzabwehr basiert auch auf ausreichend hohen Wirkstoffmengen. Die Prüfung dieser Wirkstoffmengen weist zunächst eine für alle angegebenen Unkrautarten sichere Wirkung aus. Die Reduzierung dieser Aufwandmenge zeigt für die Unkrautarten BRSNN, GALAP, MATCH und VERPE (Abb. 2) klar eine Wirkungsdosisbeziehung. Diese lässt eine weitere Reduzierung der Aufwandmenge ohne Wirkungsgradverlust nicht zu. Um eine sichere Wirkung gegen Unkrautarten mit Wirkungsdosisbeziehung zu erzielen, sollte deshalb die volle Aufwandmenge eingesetzt werden.

Für CAPBP, LAMPU, PAPRH, STEME und VIOAR ist innerhalb der geprüften Aufwandmengenreduzierung kaum bzw. keine Wirkungsdosisbeziehung erkennbar. Unter der Bedingung, dass nur diese Unkrautarten Zielorganismus sind, ist eine Reduzierung der Aufwandmenge grundsätzlich möglich.

Aus der Sicht der Resistenzabwehr ist eine Aufwandmengenreduzierung ein unnötiges Risiko, wenn nicht alle auftretenden Unkrautarten mit der reduzierten Aufwandmenge sicher bekämpft werden.

Eine Bestandsaufnahme der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zeigt, dass Resistenzen für Ungräser in dieser Region Europas inzwischen verbreitet sind (WOLBER, 2011). Die Verbreitung von Resistenzen einjähriger zweikeimblättriger Unkräuter ist nach heutigem Stand innerhalb Europas vergleichsweise gering, wie aus der Tabelle 6 hervorgeht. Das Resistenzproblem gewinnt jedoch mit steigender Zahl betroffener Arten an Bedeutung und erfordert zunehmend ein Resistenzmanagement. Dieses Management benötigt pflanzenbauliche Grundsätze aber auch in der Wirkung zuverlässige und belastbare Herbizide. Die vorgestellte Wirkstoffkombination lässt sich hier sehr gut

einbinden: ADDITION® verfügt über ein breites Wirkungsspektrum im Bereich der einjährigen zweikeimblättrigen Unkräuter. Alle bisher durch HRAC dokumentierten Resistenzen einjähriger zweikeimblättriger Unkräuter in Europa betreffen andere Wirkstoffklassen als die von Diflufenican und Pendimethalin. Damit ist eine erfolgreiche Kontrolle auch dieser Unkrautarten mit ADDITION® sicher möglich. Darüber hinaus bietet ADDITION® aufgrund der Wirkstoffkombination eine zusätzliche Resistenzabwehr für die Unkrautarten CAPBP, GALAP, LAMPU, PAPRH, VERPE und VIOAR.

Literatur

- BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL), 2011: ADDITION® ZULASSUNGSDETAILS WEBSITE, 12. OKTOBER 2011, [HTTPS://PORTAL.BVL.BUND.DE/PSM/JSP/](https://portal.bvl.bund.de/psm/jsp/).
- HEAP, I., 2011: INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. WEBSITE, 12. OKTOBER 2011, [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG](http://www.weedscience.org).
- MAKHTESHIM AGAN U.K. (UK) LTD., 2010: HURRICANE LABEL, WEBSITE 12. OKTOBER 201, [HTTP://WWW.MAUK.CO.UK/DOCS.ASP?SEC=39&CON=39&LABELINTRO=FALSE](http://www.mauk.co.uk/docs.asp?sec=39&con=39&labelintro=false).
- HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (HRAC), 2011: CLASSIFICATION OF HERBICIDES ACCORDING TO MODE OF ACTION. WEBSITE, 12. OKTOBER 2011. [HTTP://WWW.HRACGLOBAL.COM/PUBLICATIONS/CLASSIFICATIONOFHERBICIDESITEOFACTION/TABID/222/DEFAULT.ASPX](http://www.hracglobal.com/publications/classificationofherbicidesiteofaction/tabid/222/default.aspx).
- WOLBER, D. M., 2011: HERBIZIDRESISTENZ UND HERBIZIDEMPFEHLUNGEN. GETREIDE MAGAZIN **16**, 16-26.
- HINWEIS: ® DIE AUFGEFÜHRTEN HANDELSNAMEN SIND REGISTRIERTE WARENZEICHEN DER HERSTELLER

DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 – Neue Komplettlösungen gegen Ungräser und Unkräuter im Mais

DPX-Q9H36 and DPX-QKS91 – New complete solutions against grass weeds and broad leaf weeds in corn

Thomas Uhl*, Markus Kruse & Hans Günther Drobny

DuPont de Nemours (Deutschland) GmbH, Hugenottenallee 173 – 175, D-63263 Neu-Isenburg

*Korrespondierender Autor, thomas.uhl@dupont.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.073

Zusammenfassung

DPX-Q9H36 (120 g/kg Nicosulfuron, 30 g/kg Rimsulfuron, 360 g/kg Mesotrione) stellt mit einer Aufwandmenge von 330 g/ha + 0,1 % (v/v) DuPont™ Trend® eine neue Komplettlösung im Mais gegen Ungräser und breitblättrige Unkräuter dar. Dabei zeichnet sich DPX-Q9H36 durch eine sehr gute Wirksamkeit, ein breites Wirkungsspektrum, ein breites Anwendungsfenster (Mais BBCH 10 – 18) eine geringe Aufwandmenge und eine hohe Kulturverträglichkeit aus. DPX-Q9H36 ist ein homogener Blend aus wasserdispergierbaren Granulaten. Mehrjährige Versuche belegen die Wirksamkeit von DPX-Q9H36 vor allem gegen schwer bekämpfbare Unkräuter wie z.B. Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*), aber auch gegen mehrjährige Ungräser wie Gemeine Quecke (*Agropyron repens*) und verschiedene Hirse-Arten wie Hühner- (*Echinochloa crus-galli*) und Borstenhirse (*Setaria viridis*).

DPX-QKS91 (92 g/kg Nicosulfuron, 23 g/kg Rimsulfuron, 550 g/kg Dicamba), formuliert als homogener Blend aus wasserdispergierbaren Granulaten bekämpft sowohl ein breites Spektrum einjähriger Unkrautarten als auch mehrjährige Unkräuter und Ungräser. Die Anwendung erfolgt im Nachauflauf des Mais (BBCH 12 – 16) mit einer Aufwandmenge von 440 g/ha + 0,1 % (v/v) DuPont™ Trend®. Mehrjährige Versuche belegen die Wirksamkeit von DPX-QKS91 u. a. gegen den Weißen Gänsefuß (*Chenopodium album*) und Knöterich-Arten (*Polygonum* spp.), aber auch gegen Ungräser wie Gemeine Quecke (*Agropyron repens*), Einjährige Rispse (*Poa annua*) und verschiedene Hirse-Arten.

Stichwörter: *Agropyron repens*, *Chenopodium album*, Dicamba, Hirse-Arten, Mesotrione, Nicosulfuron, Rimsulfuron, *Solanum nigrum*

Summary

DPX-Q9H36 (12 % nicosulfuron, 3 % rimsulfuron, 36 % mesotrione) with an application rate of 330 g/ha + 0.1 % (v/v) DuPont™ Trend® represents a new complete solution in corn against grass weeds and broadleaf weeds. DPX-Q9H36 is characterized by a very good efficacy, a wide spectrum of efficacy, a user-friendly application in a single treatment (corn BBCH 10 - 18) with low-input and high plant tolerance. DPX-Q9H36 as a homogeneous blend of water-dispersible granules. Several years of trials demonstrating the efficacy of DPX-Q9H36 especially against difficult to control weeds such as black nightshade (*Solanum nigrum*), but also against perennial weeds like quackgrass (*Agropyron repens*) and several millet species such as barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) and green foxtail (*Setaria viridis*).

DPX-QKS91 (9.2 % nicosulfuron, 2.3 % rimsulfuron, 55 % dicamba), formulated as a homogeneous blend of water-dispersible granules, controls perennial weeds and grasses as well as annual species. The application is in the post-emergence corn (BBCH 12 - 16) with an application rate of 440 g/ha + 0.1 % (v/v) DuPont™ Trend®. Several years of trials demonstrating the efficacy of DPX-QKS91 i.e. against field bindweed (*Convolvulus arvensis*), spotted ladythumb (*Polygonum persicae*) and back bindweed (*Polygonum convolvulus*), but also against grass weeds such as quackgrass (*Agropyron repens*), annual bluegrass (*Poa annua*) and several species of millet.

Keywords: *Agropyron repens*, annual millet species, *Chenopodium album*, dicamba, mesotrione, nicosulfuron, rimsulfuron, *Solanum nigrum*

1. Einleitung

Die Maispflanze ist vor allem im Jugendstadium sehr empfindlich gegenüber der Konkurrenz durch Unkräuter und Ungräser. Speziell im frühen Stadium führt der Konkurrenzdruck um Wasser und Nährstoffe bereits zu erheblichen Wachstumsverzögerungen welche letztlich deutliche Ertragsverluste verursachen (PICKERT, 2000). Hirse-Arten, insbesondere Gemeine Hühnerhirse (*Echinochloa*

crus-galli), die Grüne Borstenhirse (*Setaria viridis*) und in den letzten Jahren vermehrt auch Fingerhirse-Arten (*Digitaria* spp.), sind bedeutende Ungräser im Maisanbau. Aber auch der Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), die Gemeine Quecke (*Agropyron repens*) und die Einjährige Risppe (*Poa annua*) sind weit verbreitet. Im Bereich der Unkräuter dominieren die Weiße Gänsefuß (*Chenopodium album*), Knöterich-Arten (*Polygonum* spp.), Kamille-Arten (*Matricaria* spp.), Klettenlabkraut (*Galium aparine*) und der Schwarze Nachschatten (*Solanum nigrum*) (MEHRTENS et al., 2005). Die Maisherbizide DPX-Q9H36 und DPX-QKS91, welche in Deutschland zur Zulassung anstehen, erlauben eine effektive und nachhaltige Kontrolle dieser Unkrautarten. Beide Produkte sind dem Bereich der Sulfonylharnstoffherbizide zuzuordnen. DPX-Q9H36 enthält neben Nico- und Rimsulfuron den Wirkstoff Mesotrione. Während Nico- und Rimsulfuron der Gruppe der Acetolactatsynthase (ALS)-Hemmer zugeordnet werden (HRAC Gruppe B), gehört das vorwiegend blattaktive Mesotrione zur chemischen Klasse der Triketone und führt zu einer kompetitiven Hemmung des Enzyms 4-Hydroxyphenylpyruvat dioxygenase (HPPD; HRAC Gruppe F2). DPX-QKS91 enthält neben den bereits aufgeführten Sulfonylharnstoffen den Wirkstoff Dicamba, welcher zum überwiegenden Teil blattaktiv ist und zur chemischen Klasse der Benzoesäurederivate gehört. Als Wirkstoff aus der Gruppe der synthetischen Auxine (HRAC Gruppe O) bewirkt Dicamba ein abnormales Streckungswachstum behandelter Ungräser und -kräuter. Nachfolgend werden das Anwendungsfenster, die Wirkungsgrade, Wirkungsspektren und Kulturverträglichkeit der Herbizide DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 dargestellt.

2. Material und Methoden

2.1 Feldversuche

Es standen insgesamt 12 Feldversuche mit DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 im Mais aus dem Jahr 2011 zu praxisüblichen Behandlungsterminen zur Verfügung. Der normale Behandlungstermin lag im Stadium BBCH 12 - 14 des Mais. Zu den blattaktiven Produkten DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 wurden, wie praxisüblich, Herbizide mit Bodenwirkung in Tankmischung ausgebracht. Bonitiert wurde der Deckungsgrad der einzelnen Unkraut-Arten in unbehandelten Parzellen und im Vergleich dazu der Bekämpfungsgrad in % in den Testparzellen. Zusätzlich fand an allen Standorten eine Bonitur auf Kulturverträglichkeit statt. Die Ausprägung der Merkmale Nekrosen, Chlorosen und Wuchsdepression wurden in Prozent (%) im Vergleich zu unbehandelt festgehalten. Alle anderen Maßnahmen in den Versuchen wie z.B. Bodenbearbeitung und Düngung wurden jeweils praxisüblich durchgeführt. Die Versuche wurden mit 2-3 Wiederholungen angelegt.

Tab. 1 Übersicht über die verwendeten Herbizide und Wirkstoffe, sowie HRAC-Klasse.

Tab. 1 Overview of the herbicides (products and ingredients, as well as HRAC-group).

Produkt	Wirkstoff	Konzentration g/kg	Maximale Aufwandmenge	HRAC-Klasse
DPX-Q9H36	Nicosulfuron	120 g/kg	330 g/ha	B
	Rimsulfuron	30 g/kg		B
	Mesotrione	360 g/kg		F2
DPX-QKS91	Nicosulfuron	92 g/kg	440 g/ha	B
	Rimsulfuron	23 g/kg		B
	Dicamba	550 g/kg		O

3. Ergebnisse

3.1 Wirksamkeit von DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 (normaler Anwendungstermin)

In Abbildung 1 sind Boniturergebnisse von *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum*, *Setaria viridis*, *Solanum nigrum* und *Chenopodium album* aus dem Jahr 2011 dargestellt. In dieser Versuchsserie wurde DPX-Q9H36 mit der zugelassenen und DPX-QKS91 mit 80 % der zugelassenen

Aufwandmenge eingesetzt. Es wird deutlich, dass DPX-Q9H36 ausnahmslos auf alle dargestellten Unkräuter und Ungräser eine sehr gute Wirkung erzielt. Die Wirkungsgrade liegen allesamt über 97 %. DPX-QKS91 zeigt sehr gute Wirkungen auf *Echinochloa crus-galli* und *Panicum dichotomiflorum*. Die Wirkung auf *Chenopodium album* ist mit 98,75 % am stärksten. Die Wirkung auf *Setaria viridis* und *Solanum nigrum* ist mit 93 % und 91 % gut bis sehr gut.

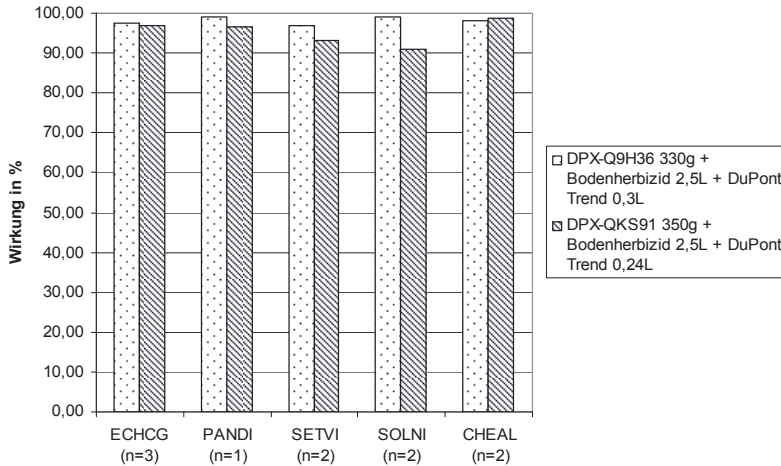


Abb. 1 Wirksamkeit von DPX-Q9H36 & DPX-QKS91 in 2011 (n = Anzahl Versuche).

Fig. 1 Efficacy of DPX-Q9H36 & DPX-QKS91 in 2011 (n = number of trials).

Abbildung 2 zeigt Boniturergebnisse aus dem Jahr 2011 mit reduzierter Aufwandmenge (65 % der zugelassenen Aufwandmenge) von DPX-QKS91 für *Agropyron repens*, *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum*, sowie für die breitblättrigen Unkräuter: *Galium aparine*, *Geranium spp.*, *Matricaria chamomilla* und *Polygonum spp.*. DPX-QKS91 zeigt ausnahmslos eine sehr gute Wirkung auf alle dargestellten Ungräser und Unkräuter. Die Wirkungsgrade liegen ohne Ausnahme oberhalb von 95,5 %.

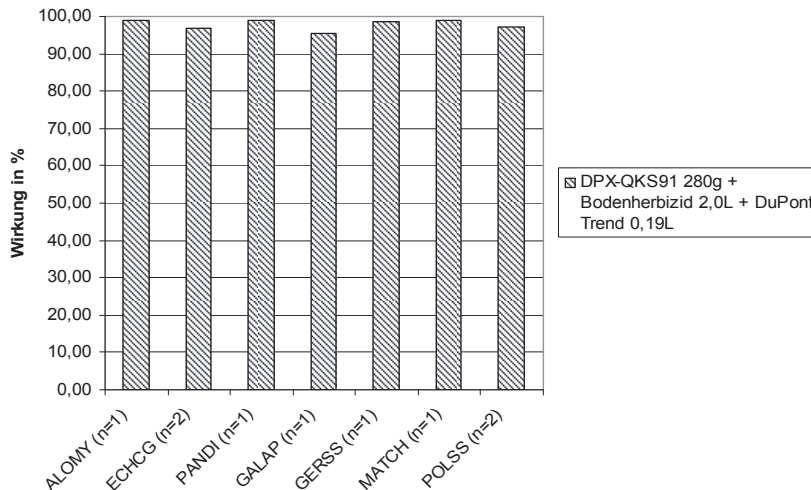


Abb. 2 Wirksamkeit von DPX-QKS91 in 2011 (n = Anzahl Versuche).

Fig. 2 Efficacy of DPX-QKS91 in 2011 (n = number of trials).

3.2 DPX-Q9H36 zum späten Anwendungstermin in BBCH 18 des Mais

In Abbildung 3 ist die bonitierte Wirkung aus dem Jahr 2011 von 275 g/ha DPX-Q9H36 auf *Agropyron repens*, *Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album* und *Solanum nigrum* zum späten Anwendungstermin in BBCH 18 des Mais dargestellt. Auch zum späten Anwendungstermin in BBCH zeigt DPX-Q9H36 eine sehr gute Wirksamkeit gegen die dargestellten Unkräuter. Mit Ausnahme von *Agropyron repens* ist eine Wirksamkeit immer oberhalb von 98 % festzustellen. Auch die Wirksamkeit gegen *Agropyron repens* liegt mit 91,5 % im guten bis sehr guten Bereich.

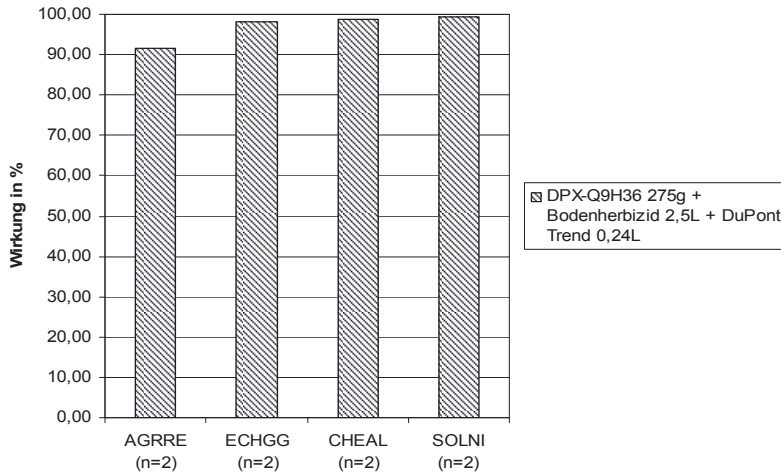


Abb. 3 Wirksamkeit von DPX-Q9H36 in 2011 (n = Anzahl Versuche).

Fig. 3 Efficacy of DPX-Q9H36 in 2011 (n = number of trials).

3.3 DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 - Kulturverträglichkeit

Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Bonituren auf Kulturverträglichkeit an dem einem Standort mit den starken Effekten in 2011. Von insgesamt 12 Versuchen, in denen DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 auf Kulturverträglichkeit geprüft wurden, zeigten die Maispflanzen an nur drei Standorten leichte Anzeichen einer Reaktion auf die Anwendung von DPX-Q9H36 und DPX-QKS91. Chlorosen konnten zu keinem der beiden Boniturtermine am 01. und 15. Juni 2011 (9 und 24 Tage nach der Anwendung) festgestellt werden. Eine leichte Wuchsdepression wurde zum ersten Termin am 01.06.2011 bei beiden Herbiziden festgestellt. DPX-Q9H36 führte zu einer Wuchsdepression von 2,5 %, während bei DPX-QKS91 eine Wuchsdepression von 5 % bonitiert wurde. In beiden Fällen zeigten die Maispflanzen zum zweiten Termin vier Wochen nach der Anwendung keinerlei Symptome mehr.

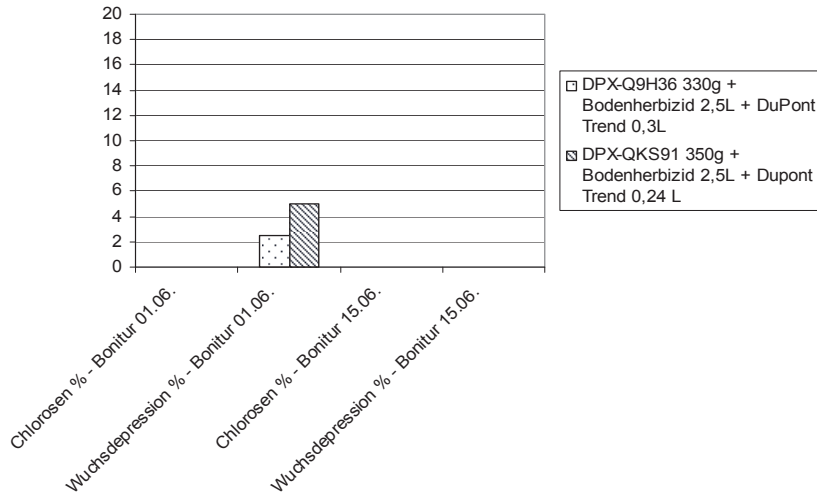


Abb. 4 Kulturverträglichkeit von DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 in 2011.

Fig. 4 Phytotoxicity of DPX-Q9H36 and DPX-QKS91 in 2011.

4. Diskussion

4.1 Wirksamkeit von DPX-Q9H36 & DPX-QKS91 (normaler Anwendungstermin)

DPX-Q9H36 zeigt in den Feldversuchen (Abb. 1) eine sehr gute Wirksamkeit gegen Ungräser und Unkräuter. Im Bereich der Ungräser wurden *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum* und *Setaria viridis* sicher, mit hohen Wirkungsgraden und nachhaltig bekämpft. Die breitblättrigen Unkräuter *Solanum nigrum* und *Chenopodium album* wurden ebenfalls sicher bekämpft. Die Kombination der beiden Wirkstoffe Nicosulfuron und Rimsulfuron ist u.a. für das hohe Wirkpotential von DPX-Q9H36 verantwortlich. Ursächlich dafür ist, neben der hohen Menge an Wirkstoff in DPX-Q9H36, das Zusammenspiel beider Wirkstoffe hinsichtlich des Transports in der Pflanze. Während Rimsulfuron als lipophiles Molekül sehr schnell in Pflanzen eindringt, wird Nicosulfuron im pflanzlichen Phloem effizienter an den Zielort transportiert. Unter Bedingungen, bei denen einer der Einzelwirkstoffe nicht in der Lage ist, das Enzym ALS in ausreichenden Konzentrationen in den meristematischen Geweben zu erreichen, erbringt DPX-Q9H36 als Kombination der beiden Wirkstoffe Nicosulfuron und Rimsulfuron einen verbesserten Wirkungsgrad. Dies beschreiben auch KRUSE und DROBNY (2010) für das Produkt PRINCIPAL. Neben einem effizienteren Transport in der Pflanze ist die positive Interaktion beider Wirkstoffe auf der Ebene der Enzyme ebenfalls von besonderer Bedeutung. Aufgrund der Fähigkeit schneller und mit größerer Präzision an die Zielregion des Enzyms ALS zu binden ist die Affinität von Rimsulfuron zum Zielenzym ALS ist signifikant höher als die von Nicosulfuron. Somit resultiert aus der Kombination von Rimsulfuron und Nicosulfuron eine höhere Wirkungsgeschwindigkeit - und letztlich eine hohe Wirkungssicherheit. Das Schließen noch verbleibender Wirkungslücken der Wirkstoffkombination aus Nico- und Rimsulfuron in DPX-Q9H36 erfolgt dann durch den Wirkstoff Mesotrione. Insbesondere die hohen Wirkungsgrade von DPX-Q9H36 auf *Solanum nigrum* und *Chenopodium album* (Abb. 1) lassen sich durch einen zusätzlichen Effekt auf beide Unkräuter durch Mesotrione erklären. Darüber hinaus besitzt dieser Wirkstoff eine ergänzende Wirkung auf verschiedene Hirse-Arten, *Polygonum persicaria*, *Polygonum aviculare* und *Datura stramonium*.

DPX-QKS91 besitzt ebenfalls eine hohe Wirksamkeit auf *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum* und *Setaria viridis*, sowie die breitblättrigen Unkräuter *Solanum nigrum* und *Chenopodium album* (Abb. 1). Die kombinatorischen Effekte von Rimsulfuron und Nicosulfuron, wie im vorhergehenden Absatz für DPX-Q9H36 beschrieben, gelten in gleicher Weise auch für DPX-

QKS91. Abbildung 2 verdeutlicht anhand der hohen Wirkungsgrade von DPX-QKS91 auf *Agropyron repens* einen weiteren Vorteil der Wirkstoffkombination beider Sulfonylharnstoffe. Erfahrungsgemäß wird die Gemeine Quecke *Agropyron repens* gut bekämpft, wenn sie zum Zeitpunkt der Behandlung mindestens 1 – 2 Blätter ausgebildet hat und nicht höher als 15 cm ist. Die im Vergleich zu DPX-Q9H36 etwas geringere Wirkung von DPX-QKS91 auf *Solanum nigrum* lässt sich durch die geringere Wirksamkeit des Wirkstoffs Dicamba erklären. Hier hat der Wirkstoff Mesotrione offensichtlich deutliche Vorteile bei der Bekämpfung. Abbildung 2 verdeutlicht jedoch die Vorzüge des Wirkstoffs Dicamba. Insbesondere die hohen Wirkungsgrade von DPX-QKS91 auf *Galium aparine* und *Polygonum* spp. sind auf den Wirkstoff Dicamba zurückzuführen, wohingegen die erfolgreiche Bekämpfung von *Matricaria chamomilla* den Sulfonylharnstoffen zuzurechnen ist. Darüber hinaus besitzt der Wirkstoff Dicamba eine sehr gute Wirkung auf aufgelaufene Wurzelunkräuter wie *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis* und *Rumex* spp..

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass mit DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 zwei neue Komplettlösungen zur Ungras- und Unkrautbekämpfung im Mais mit umfassenden Wirkspektren und hohen Wirkungsgraden zur Verfügung stehen. Beide Herbizide, DPX-Q9H36 und DPX-QKS91, besitzen besondere Stärken hinsichtlich der Bekämpfung ein- und mehrjähriger Gräserarten. Hinsichtlich des Spektrums breitblättriger Unkräuter sollte DPX-Q9H36 vorrangig auf Standorten mit starkem Befall durch *Chenopodium album* und *Solanum nigrum* Anwendung finden. DPX-QKS91 findet seine Anwendung auf Flächen mit aufgelaufenen Wurzelunkräutern wie *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis* und *Rumex* spp..

4.2 DPX-Q9H36 zum späten Anwendungstermin in BBCH 18 des Mais

Die Ergebnisse von DPX-Q9H36 zum späten Anwendungstermin in BBCH 18 des Mais zeigen in Abbildung 3 deutlich, dass mit dieser Herbizidlösung eine sehr anwenderfreundliche Lösung mit breitem Einsatzfenster in der Bekämpfung von *Agropyron repens*, *Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album* und *Solanum nigrum* zur Verfügung steht. Die hohen Wirkungsgrade resultieren vornehmlich aus der hohen Aufladung mit Wirkstoffen und wiederum aus dem kombinatorischen Effekt der einzelnen Wirkstoffe (siehe Kapitel 4.1). DPX-Q9H36 besitzt somit ein sehr breites Anwendungsfenster und kann mit hohen Wirkungsgraden in allen Stadien von BBCH 12 bis BBCH 18 des Mais eingesetzt werden.

4.3 DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 - Kulturverträglichkeit

Die Kulturverträglichkeit von DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 kann insgesamt als sehr gut bezeichnet werden. An nur drei Standorten konnten nach der Anwendung von DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 Anzeichen von Kulturschäden wie eine leichte Wuchsdepression festgestellt werden. Diese Symptome konnten zum zweiten Boniturtermin nicht mehr beobachtet werden. Die Kombination der beiden Sulfonylharnstoffe in beiden Herbiziden ist für Maispflanzen sehr gut verträglich. Der Mais nimmt die Wirkstoffe Nicosulfuron und Rimsulfuron zwar genau wie Unkräuter auf, inaktiviert sie aber so schnell, dass er nicht geschädigt wird. Wenn ungünstige Umweltbedingungen den Stoffwechsel des Mais stark beeinträchtigen, kann diese Wirkstoffinaktivierung nicht schnell genug erfolgen, was zu den beobachteten Wuchsdepressionen führen kann. In der Regel verwachsen sich diese wieder ohne einen nennenswerten Ertragseffekt hervorzurufen. Um Schäden zu vermeiden, sollte beim Einsatz von DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 auf geeignete Umweltbedingungen geachtet werden. Der Unterschied bezüglich der Ausprägung der Wuchsdepression zwischen beiden Produkten (Abb. 1) ist auf die unterschiedlichen Wirkstoffe Mesotrione und Dicamba zurückzuführen. Mesotrione in DPX-Q9H36 erscheint in den vorliegenden Untersuchungen kulturverträglicher zu sein als der Wirkstoff Dicamba in DPX-QKS91. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sowohl DPX-Q9H36 und DPX-QKS91 als sehr kulturverträglich bezeichnet werden können, sofern die empfohlenen Anwendungsbedingungen eingehalten werden.

Literatur

HRAC (HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE), 2002: CLASSIFICATION OF HERBICIDES ACCORDING TO MODE OF ACTION. HRAC PUBLICITY OFFICE, 2002. WWW.PLANTPROTECTION.ORG/HRAC/MOA.GIF.

KRUSE, M. UND H.G. DROBNY, 2010: PRINCIPAL[®] UND DIRIGENT[®] SX[®] – NEUE HERBIZIDE AUF DER TECHNOLOGISCHEN BASIS HOMOGENER MISCHUNGEN VON EXTRUSIONSGRANULATEN. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 299.

MEHRTENS, J., M. SCHULTE UND K. HURLE, 2005: UNKRAUTFLORA IN MAIS. GESUNDE PFLANZEN **57**, 206-218.

PICKERT, J., 2000: EINFLUSS DES UNKRAUTBEKÄMPFUNGSTERMINS AUF ERTRAG UND WIRTSCHAFTLICHKEIT DES SILOMAISANBAUES. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XVII**, 253-258.

Quantitative population-epigenetics in screening and development of regulator-active compounds

Quantitative Populations-Epigenetik beim Screening und der Entwicklung von regulatorisch aktiven Substanzen

Reinhold Stauß

Ritzebeker Weg 13, D-24222 Schwentinental Ortsteil Klausdorf

Reinhold.Stauss@googlemail.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.074

Summary

Quantitative (Population-) Epigenetics describes the variability observed in characters due to factors in the environment induced primarily by the gamut of chemical compounds screened for regulatory efficacy.

Likewise, index selection based on the statistical Quantitative (Population-) Epigenetics theory can be used to improve efficiency in screening compounds for their potential to enhance quantitative characters such as yield, stability and resistance to unfavourable environmental influences (e.g., water stress, cold temperatures or disease resistance).

1. Optimal screening efficiency of regulator-active compounds is obtained with
2. high environmental variability,
3. low heritability (characters for which the genotype sets a wide 'norm of reaction' on environmental influences),
4. high correlation between characters under indirect selection and intensity of selection is shown.

Keywords: Biologically-active chemical compounds, efficacy value, environmental variation, genetic analogues, genotype, heritability, index selection, phenotype, quantitative characters, screening efficiency

Zusammenfassung

Quantitative (Populations-) Epigenetik beschreibt die durch regulatorische Substanzen als Umweltfaktoren bewirkte Variabilität von Merkmalen.

Die Anwendung von Indexselektion auf Grundlage der statistischen Quantitativen (Populations-) Epigenetik-Theorie zur Erhöhung der Screeningeffizienz von chemischen Substanzen bei quantitativen landwirtschaftlichen Merkmalen wie zum Beispiel Ertrag, Standfestigkeit oder Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen negative Umweltfaktoren (z. B. Wassermangel, Frost oder Krankheiten), wird dargestellt.

1. Optimale Screeningeffizienz bei regulatorisch wirksamen Substanzen wird erzielt
2. bei großer Umweltvariabilität,
3. bei niedriger Heritabilität (Merkmale, bei denen der Genotyp eine große Reaktionsbreite ('norm of reaction') für die Modifikation durch die Umwelt zulässt),
4. bei hoher Korrelation zwischen Hilfsmerkmal und Zielmerkmal bei indirekter Selektion und mit hoher Selektionsintensität.

Stichwörter: Biologisch aktive chemische Substanzen, genetische Analogie, Genotyp, Heritabilität, Phänotyp, quantitative Merkmale, Screeningeffizienz, umweltbedingte Variabilität, Wirkungswert

1. Introduction

The potential for using plant-growth regulators in agriculture is far-reaching. Yet, despite extensive research on plant-growth regulators, only a few chemical compounds have achieved practicability. Lack of success may be attributed to two factors: up to now, either chemists have not devised such biologically active compounds or screening and development procedures are not adequately sensitive to detect effects on quantitatively inherited characters.

This publication propounds to render screening more efficient by taking into account laws of

inheritance. The argument undertakes to show that statistical (epi-)genetic theory as a basis for developing regulator screening methods may be appropriated with the same facility as is done in plant and animal breeding schemes. The research discipline and the treatment subject are the same for both the breeder and the investigator of regulatory agents, save each treats different sides of the same coin (organism). The breeder endeavours to improve the genotype - for him environments are 'fixed' effects; the chemical researcher is not able to augment the genotype - one strives to intervene in the environment by effecting a specific phenotypic expression with a chemical compound within the 'norm of reaction' inherent in the genotype.

Likewise index selection based on statistical epigenetic theory can be used to improve efficiency in screening compounds for their potential to enhance quantitative characters such as yield, stability and resistance to unfavourable environmental influences (e.g., water stress, cold temperatures, disease resistance) - as well indeed, for potential in pharmacological intervention.

Ecological and Evolutionary Epigenetics is a new field of frontier research at the intersection between molecular genetics and evolutionary ecology. The term 'Epigenetics' has been used only since about ten years. The statistical Quantitative (Population-) Epigenetics theory was published with "Genetic analogues in chemical screening" in 1992 (STAUSS, 1992).

2. Quantitative Variation and the Concept of Heritability

Concerning the inheritance of quantitative characters, it is manifest that the response in the environment is not known precisely. Nonetheless, the measure of the action of an agent ('efficacy value' [Bc]) is determined as the average mean of verifiable attributes (phenotypes) for a chemical effect taken over all random samplings in the environment. (It is understood that a given 'efficacy value' [Bc] is contingent upon described dosage).

"In a strict sense, the question of whether a characteristic is hereditary or environmental has no meaning. The genes cannot cause a character to develop unless they have the proper environment, and, conversely, no amount of manipulation of the environment will cause a characteristic to develop unless the necessary genes are present. Nevertheless, we must recognize that the variability observed in some characters is caused primarily by differences in the genes carried by different individuals and that the variability in other characters is due primarily to differences in the environments to which individuals have been exposed." (ALLARD, 1960).

Therefore the prerequisite for an efficient screening of chemical compounds which could influence a designated quantitative character is the variability of this character induced by given environmental factors.

Quantitative Variation: $P = E + G$

(where P = phenotypic value; E = response of the environment and/or a chemical compound; G = deviation due to different genotypes).

Heritability:

The proportion of the total phenotypic variance (σ_p^2) contingent upon *genetic* differentiation is a measure of the amount of genetic variability (σ_G^2) of the total variance for a character in question (heritability in the broad sense [h^2]).

By transformation of the equation of the heritability definition

$$h^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_p^2} = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_G^2 + \sigma_E^2},$$

the following expression is derived for $1 - h^2$:

$$1 - h^2 = \frac{\sigma_E^2}{\sigma_P^2}.$$

The proportion of the total phenotypic variance (σ_P^2) that is due to *environmental* effects is a measure of the extent of environmental variability (σ_E^2) of the total variance for a character under observation (one minus heritability in the broad sense [$1 - h^2$]).

When all variation is due to genetic cause or if no environmental variance obtains, $h^2 = 1$ or 100 % expressed as a percentage; as the environmental element of variance increases, h^2 decreases.

Environmental variance:

The main components of environmental variance are 1) 'chemical deviation', $\sigma_{E_c}^2$ (response-effect deviations for an applied agent accruing to all genotypes and random environmental integrants), 2) 'random environmental deviation', $\sigma_{E_r}^2$ (deviation effected by environmental constituents) and 3) 'interactional deviation', $\sigma_{E_i}^2$ (deviation resulting from interaction between a chemical compound and environmental factors).

The 'efficacy value' [Bc], by definition, is not correlated to dominance or epistatic effects. Furthermore, it is assumed that there is no correlation due to effects between genotypes and environmental factors and that there is no association between an applied agent and the environment.

Conclusion:

The smaller the heritability the greater is the facility to influence a character by the environment or by a biologically active chemical agent as an integrant of the environment.

3. The Significance of the Heritability Factor

The relationship between the breeding value or the 'efficacy value' [Bc] of a chemical compound and a phenotype may be delineated by means of appropriating biometric expressions: covariance, correlation and regression.

The *correlation* between the 'efficacy value' [Bc] and a phenotypic value is:

$$\rho_{EP} = \frac{\text{cov}(E,P)}{\sigma_E \sigma_P} = \frac{\sigma_E^2}{\sigma_E \sigma_P} = \frac{\sigma_E}{\sigma_P} = \sqrt{1 - h^2}.$$

The *regression* between the 'efficacy value' [Bc] and a phenotypic value is then:

$$\beta_{EP} = \frac{\text{cov}(E,P)}{\sigma_P^2} = \frac{\sigma_E^2}{\sigma_P^2} = 1 - h^2.$$

Conclusions:

1. The regression of the 'efficacy value' [Bc] of a chemical compound to a phenotypic value is equal to one minus heritability ($1 - h^2$).
2. The correlation between the 'efficacy value' [Bc] of a compound and a phenotypic value is the square root of one minus heritability ($\sqrt{1 - h^2}$).

The importance of using one minus heritability as a regression is in estimating the 'efficacy value' [Bc] of a chemical compound with the help of a phenotypic value:

$$\hat{Bc} = \hat{E} = \beta_{EP}(P - \mu) = (1 - h^2)(P - \mu).$$

To see how accurate this estimation is, the correlation between the estimated and the true values can be calculated thusly:

$$\rho_{\hat{Bc}, \hat{Bc}} = \rho_{\hat{E}, \hat{E}} = \frac{\text{cov}(E, \hat{E})}{\sigma_E \sigma_{\hat{E}}} \quad (3.1)$$

with

$$\hat{E} = \beta_{EP}(P - \mu);$$

so that

$$\text{cov}(E, \hat{E}) = \text{cov}[E, \beta_{EP}(P - \mu)] = \beta_{EP} \text{cov}(E, P) \quad (3.2)$$

and

$$\sigma_{\hat{E}} = \sigma_{\beta_{EP}(P - \mu)} = \beta_{EP} \sigma_P. \quad (3.3)$$

Applying (3.2) and (3.3) to (3.1), the reliability of an estimated 'efficacy value' [Bc] may be computed

$$\begin{aligned} \rho_{\hat{Bc}, \hat{Bc}} &= \rho_{\hat{E}, \hat{E}} \\ &= \frac{\beta_{EP} \text{cov}(E, P)}{\sigma_E \beta_{EP} \sigma_P} \\ &= \frac{\text{cov}(E, P)}{\sigma_E \sigma_P} \\ &= \sigma_{EP} \\ &= \sqrt{1 - h^2}. \end{aligned}$$

Conclusion:

The square root of one minus heritability is a reliability measure of an 'efficacy value' [Bc] estimation of a chemical compound as the function of a phenotypic value.

4. Correlation of Characters

The relationship (correlated variation) between two or more characters can be quantified by means of the biometric expressions

3. covariance and
4. correlation.

The methodology must take into account correlation between characters -- 'genetic character correlation' and/or 'reciprocal response' to mutual environmental factors.

By this correlation it is inferred that a modification in one character induces alteration in another.

This can be used,

1. in doing indirect selection, and
2. in doing direct selection with the intention of enhancing two or more characters (albeit at times negatively correlated).

Taking P_1 and P_2 as phenotypic values of an organism,

$$P_1 = \mu_1 + A_1 + E_1' \text{ and } P_2 = \mu_2 + A_2 + E_2'$$

where A_1 and A_2 express the breeding values of two characters; E_1' and E_2' denote the respective sums of factors in an 'environmental Syndrome', plus the effects of 1) dominance, 2) epistasis and 3) genotypic-environmental interaction.

Phenotypic covariance may then be calculated:

$$\begin{aligned} \text{cov}(P_1, P_2) &= E[(P_1 - \mu_1)(P_2 - \mu_2)] \\ &= E[(A_1 + E_1')(A_2 + E_2')] \\ &= E(A_1 A_2) + E(A_1 E_2') + E(E_1' A_2) + E(E_1' E_2'). \end{aligned}$$

Assuming that genotypes are distributed randomly in environments,

$$E(A_1 E_2') = E(E_1' A_2) = 0.$$

By substitution the formulation of phenotypic covariance is rendered

$$\text{cov}(P_1, P_2) = \text{cov}(A_1, A_2) + \text{cov}(E_1', E_2').$$

To compare correlations of associated characters it is necessary to standardize covariances. This is carried out by the formulation

$$\begin{aligned} \rho_p' &= \frac{\text{cov}(P_1, P_2)}{\sigma_{P_1} \sigma_{P_2}} \\ &= \frac{\text{cov}(A_1, A_2) + \text{cov}(E_1', E_2')}{\sigma_{P_1} \sigma_{P_2}} \end{aligned}$$

where

$$\text{cov}(A_1, A_2) = \rho_A \sigma_{A_1} \sigma_{A_2}$$

and

$$\text{cov}(E_1', E_2') = \rho_{E'} \sigma_{E_1'} \sigma_{E_2'}$$

which means

$$\frac{\sigma_{A_1}}{\sigma_{P_1}} = h_1, \quad \frac{\sigma_{E_1'}}{\sigma_{P_1}} = \sqrt{1 - h_1^2},$$

$$\frac{\sigma_{A_2}}{\sigma_{P_2}} = h_2, \quad \frac{\sigma_{E_2'}}{\sigma_{P_2}} = \sqrt{1 - h_2^2}.$$

By transformation the model is converted into

$$\rho_p = h_1 h_2 \rho_A + \rho_{E'} \sqrt{(1 - h_1^2)(1 - h_2^2)}.$$

With the help of this formula environmental correlation may be computed as

$$\rho_{E'} = \frac{\rho_p - h_1 h_2 \rho_A}{\sqrt{(1 - h_1^2)(1 - h_2^2)}}.$$

Conclusion:

If heritability is high, phenotypic correlation is due predominantly to genotypic correlation; if it is low, phenotypic correlation is due predominantly to mutual environmental factors.

5. The Essential of Discerning Nonrandom Genetic and Environmental Effects

The 'efficacy value' [Bc], strictly, is an estimation.

Genetic effects (A, D, Ep) as well as environmental effects (E_i) are comprehended in the 'efficacy value' [Bc] of a compound:

1. random and nonrandom (systematic) genetic effects (depending upon occurrence in the genotype sampling) and
2. random and nonrandom environmental effects (due to e.g., seasonal or nutritional situation or experimental conditions).

This may be formulated as

$$P = \mu + G + E_c + E_r \\ = \mu + G_r + G_s + E_c + E_r' + E_s.$$

A phenotypic value may be derived from nonrandom effects by recourse to control mean (cm) deviation. By 'control mean' is designated the mean (of all genotypes and all compounds) plus the sum of nonrandom experimental effects -- both genetic (G_s) and environmental (E_s):

$$cm = \mu + G_s + E_s.$$

The deviations constituted in the 'efficacy value' [Bc] then may be obtained with

$$P - cm = G_r + E_c + E_r.$$

Oftentimes there are diverse nonrandom effects to delimit (e.g., association between genotype subgroups, seasonal variation, climate chamber trial modalities). By means of the ensuing equation, any experimental modality may be 'corrected' to compensate for whatever systematic control influences (up to n genotypic and/or m environmental factors):

$$cm' = \mu + G_{s_1} + \dots + G_{s_n} + E_{s_1} + \dots + E_{s_m}.$$

6. Selection indices

The indices may be formulated in a manner similar to the optimum index of SMITH (1936) and HAZEL (1943), that employs heritabilities as index weights (which weights correspond to weights from the optimum index if traits are uncorrelated), or according to the base index proposed by WILLIAMS (1962), which uses economic weights as index weights.

7. Discussion

Quantitative (Population-) Epigenetics is the study of continuous traits (such as stress, height or weight) and their underlying mechanisms. It is the combined effect of the many underlying genes and epigenetical effects resulting in a continuous distribution of phenotypic values.

The main application of quantitative epigenetics to artificial and natural populations could be using the pattern of genetic variances and covariances to predict the response of the mean phenotype to biologically active chemical compounds as artificial environmental factors - from 'chemistry' to phenotype:

- Quantitative epigenetics aims to link phenotypic variation for complex traits to its underlying epigenetic basis in order to understand and predict better epigenetic architecture and changes within natural, agricultural and human populations - due to environmental factors.

- Traditionally built upon statistical abstractions of epigenetic effects (environmental, biologically active chemical compounds), the field could be used to reveal explicit links between epigenome and complex phenotypes, and could therefore serve as a focal point for bringing together many emerging areas of genetics, epigenetics, genomics, physiology, statistics, bioinformatics, and computational biology.
- This synthesis could have a large impact on the areas of evolutionary biology, selection and development of biologically active chemical compounds, and the epigenetic analysis of human disease.

The application of statistical Quantitative (Population-) Epigenetics to the selection and to the development of biologically active substances (e.g. plant growth regulators) is a fundamentally new approach in planning, evaluation and assessment of experiments.

The following considerations are offered:

1. In initial screenings, a 'random' subpopulation of genotypes should manifest moderate expression of a target character - resulting in low heritability.
2. In testing for quantitative character enhancement, initial screening should be conducted under stress-environment conditions - in order to obtain an optimum differentiation of agents (low heritability).
3. To judge constancy in performance, testing should employ a random sampling of genotypes and non-stress environments - which afford assessment of the interactions: a) agent-genotype, b) agent-environment and c) agent-genotype-environment.
4. It must be possible to identify specific genotype-environment constellations from which issue 'amplifier' interactions that intensify differentiation suitability -- as in breeding practice, where partial positive covariance of genotype-environment interaction avails to intensify differentiation suitability of location effects, or here genotype-environment effect.

Hence the objective is to identify which genotype-environment constellation is the most auspicious to make use of as a 'reference combination' to achieve optimum screening efficiency.

The statistical Quantitative (Population-) Epigenetics theory provides basic rules for experimental designs and data analysis concerning

1. experimental design: fix or random effects, size, trial conditions e.g. stress or non-stress, etc.,
2. post-experimental evaluation,
3. optimization of experimental designs and
4. quantitative description of single or multiple traits designs e.g. using selection indices.

The impetus to translate this Quantitative (Population-) Epigenetics theory into practice is weighted by a) screening sensitivity, b) time expediency, c) ease of replication, d) reliability, e) heuristic incentive, f) elimination of conjectural risks and g) financial returns.

References

- ALLARD, R.W., 1960: PRINCIPLES OF PLANT BREEDING, pp. 83-88. JOHN WILEY & SONS, NEW YORK.
- HAZEL, L.N., 1943: THE GENETIC BASIS FOR CONSTRUCTING SELECTION INDICES. *GENETICS* **28**, 476-490.
- SMITH, H.F., 1936: A DISCRIMINANT FUNCTION FOR PLANT SELECTION. *ANNALS OF HUMAN GENETICS* **7**, 240-250.
- STAUSS, R., 1992: GENETIC ANALOGUES IN CHEMICAL SCREENING. *ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ* **99**, 653-656.
- WILLIAMS, J.S., 1962: THE EVALUATION OF A SELECTION INDEX. *BIOMETRICS* **16**, 375-393.

Sektion 7: Klimawandel und Neophyten

Section 7: Climate change and neophytes

Untersuchungen zu Auflauf und Etablierung von *Iva xanthiifolia* Nutt. unter veränderten Umweltbedingungen in Norddeutschland

*Study on emergence and early establishment of *Iva xanthiifolia* Nutt. under changing climatic conditions in Northern Germany*

Barbara Edler* & Horst-Henning Steinmann

Georg-August-Universität Göttingen, Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung, Grisebachstr. 6, D-37077 Göttingen

*Korrespondierender Autor: barbara.edler@agr.uni-goettingen.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.075

Zusammenfassung

Der Klimawandel und die damit verbundenen Umweltveränderungen können zu einer Verschiebung und einem Wandel der heimischen Unkrautflora führen. Unkräuter, die aktuell nur auf Ruderalstandorten oder in geringen Abundanzen vorkommen, erfahren durch klimabedingte Modifikationen die Gelegenheit zur Ausbreitung. Das Spitzkletten-Schlagkraut (*Iva xanthiifolia*), bis jetzt nur an zwei Standorten in Niedersachsen bekannt, wurde in der vorliegenden Arbeit als Modellunkraut gewählt. Anhand von Gewächshausversuchen über die Manipulation von Temperatur- und Feuchtebedingungen in vier unterschiedlichen Bodensubstraten, die repräsentativ für die Bodenklimaregionen in Norddeutschland stehen, wurde die fundamentale Nische dieser Art analysiert. Dabei wurden die Keimung, wie auch Pflanzenmerkmale in den ersten sechs Wachstumswochen untersucht. Sowohl in der Keimphase, wie auch bei der Biomasseentwicklung und in der Wurzelbildung reagierte die Pflanze negativ auf eine Erhöhung der Temperatur um 4 °C. In der Keimphase führte ein geringeres Wasserangebot im lehm-, sand- und tonhaltigen Bodensubstrat zu einer Reduktion der Keimrate. Trockenheit hatte zugleich eine negative Auswirkung auf die Biomasseentwicklung im Lehmsubstrat, begünstigte aber die Wurzelbildung im torf- und sandhaltigen Boden. Daraus schließen wir, dass *Iva xanthiifolia* unter veränderten klimatischen Faktoren in Norddeutschland vermutlich ungünstige Bedingungen für eine Etablierung vorfindet. Kommt es aus anthropogenen Gründen z.B. Saatgutverunreinigungen zu einem verstärkten Einbringen in das Agrarökosystem ist eine Ausbreitung in stark humosen Böden am wahrscheinlichsten.

Stichwörter: Fundamentale Nische, Keimung, Klimawandel, Spitzkletten-Schlagkraut

Summary

Climatic change affects many above- and belowground ecosystems, and might lead to a shift in the native weed flora. Weeds, which are current only present on the ruderal site or in less abundances, could expand their ranges to through climatic modifications. Here, we investigate the effect of alteration of temperature and water content in four soil substrates (prestigious for soil-climate areas in Northern Germany) on the fundamental niche of *Iva xanthiifolia*. *Iva xanthiifolia*, also known as marsh-elder, was recently observed at two locations in Lower Saxony. The fundamental niche of this species was determined by investigating the germination behavior and some meaningful plant traits in the establishment stage of the plant. A temperature increase of 4 °C had a negative effect on the germination rate, as well as on biomass accumulation and root elongation. During the germination phase, a negative influence on plants in loam, sand and clay under water reduction was given. However, less water also reduced the total biomass on loamy grown plants, but was beneficial for root development in sandy and peaty habitats. Therefore, we conclude that under changing climatic conditions a possible establishment of *Iva xanthiifolia* in Northern Germany is hampered. Nevertheless, if due to anthropogenic reasons, e.g. import of contaminated seeds into the agroecosystem, an establishment in humus rich soils will be most likely.

Keywords: Climate change, fundamental niche, germination, *Iva xanthiifolia*

1. Einleitung

Eine bedeutende Anzahl an Studien belegt die Auswirkung des globalen Wandels auf die Phänologie der Pflanze und deren Verbreitung in Raum und Zeit (WALTHER, 2010). Die Ausbreitung von Pflanzenarten wird durch die Toleranz gegenüber ökologischen Faktoren, den Konkurrenzbeziehungen zueinander, sowie anthropogenen Einflüssen bestimmt (GRIME, 2007; ELLENBERG et al., 2010). Kommt es zu einer Verschiebung der ökologischen Gegebenheiten (Veränderung des Nischenraums), bestehen unterschiedliche Optionen einer Art auf die neu geschaffene Umweltsituation zu reagieren. Eine genetische Adaption, welche eine längere Zeitspanne benötigt, wie auch eine Verschiebung des Vorkommensbereiches bzw. ein Aussterben sind möglich (METZING und GERLACH, 2008).

Der Nischenraum einer Art setzt sich aus n-möglichen Umweltfaktoren wie u.a. Temperatur, Nährstoffen und Bodenfeuchte zusammen. Eine fundamentale Nische bezeichnet den belegten Teil des Nischenraums, in dem eine Art alleine aufgrund ihrer ökologischen Potenz und der damit einhergehenden Anpassungsfähigkeit existieren kann (HOLT, 2009; SOBERÓN und NAKAMURA, 2009).

Indem die Keimung und Pflanzenentwicklung auf den genannten Umweltfaktoren beruhen, scheint der Boden in diesem komplexen Beziehungsgefüge eine zentrale Rolle einzunehmen. Dieser dient als Wurzelraum und ist für das Mikroklima oder aber auch für die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen verantwortlich. Eine Veränderung der klimatischen Bedingungen hätte somit auch einen Wandel der Bodenbeschaffenheit und -prozesse und schlussendlich Auswirkungen auf die Flora zur Folge (NORDMEYER und HÄUSLER, 2004). Eine Erhöhung der Temperatur, Hand in Hand gehend mit einem Wechsel der Bodenfeuchte, würde zu einer Vielzahl an Boden- und Pflanzenreaktionen führen (VAN GRUNSVEN et al., 2010).

Der Keimphase wird in dieser Studie ein besonderer Stellenwert eingeräumt, da aus dem Keimverhalten Rückschlüsse auf Reproduktionsvermögen, Biomasseentwicklung u.a. gezogen werden können (DONOHUE et al., 2010). Diese Merkmale sind für eine Etablierung und Ausbreitung mitverantwortlich.

Das Spitzkletten-Schlagkraut [(*Iva xanthiifolia* Nutt.) syn. *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.)] ist eine aus Nordamerika stammende Pflanze, welche in Europa vielfach adventiv und vor allem in den östlich-europäischen Ländern (Südrussland, Ukraine u.a.) seit längerer Zeit eingebürgert ist (HEGI, 1979). Das Vorkommensgebiet erstreckt sich von den kontinental geprägten, sommerwarmen Regionen der Pannonischen Tiefebene bis hin zu den Steppenzonen des westlichen Urals (JÄGER, 1995). Bis jetzt wurde *Iva xanthiifolia* erst an zwei Standorten in Niedersachsen kartiert (GARVE, 2007; FLORAWEB, 2011). In den vergangenen Jahren konnte eine massive Ausbreitung in Ungarn (HODI und TORMA, 2002) beobachtet werden, welche auf eine mögliche Wanderungstendenz dieser Art in Europa hinweist. Ein verstärktes Auftreten von *Iva xanthiifolia* kann sich negativ auf den Ertrag von Sommerungen auswirken (WEBER und GUT, 2005) aber auch allergene Reaktionen hervorrufen (HODISAN, 2009). Aus diesem Grund, beschäftigten wir uns damit, die fundamentale Nische dieser Art während der Keimung und der Entwicklung auszuloten, um eine Aussage über eine mögliche Etablierung und Ausbreitung in Norddeutschland im Zuge des Klimawandels zu treffen.

2. Material und Methoden

2.1 Die Biologie von *Iva xanthiifolia*

Iva xanthiifolia zählt zur Familie der *Asteraceae*. Die sommerannuelle Art erreicht eine Höhe von 50 bis 200 cm (FOLLACK, 2009). Der untere Stängel der Pflanze ist kahl, der im Bereich des Köpfchenstandes zottig behaart. Die gegenständigen Laubblätter sind länglich eiförmig bis fast herzförmig spitz und mehr oder weniger deutlich dreinervig, sowie gezahnt. Die Größe der Blätter ist variabel und kann von 2 bis 20 cm reichen (HEGI, 1979). Die grüngelbe Blüte erfolgt vom August bis September und ist windblütig. Die Pflanze verbreitet sich über Samen, welche unter günstigen Bedingungen in einer Anzahl von 20.000 (FOLLACK, 2009), 80.000 (HEGI, 1979) bis zu 120.000 (HODI und TORMA, 2002) Stück gebildet werden können. Die Samen können im Boden ca. 8 Jahre lang keimfähig bleiben (FOLLACK,

2009) und eine Keimfähigkeit von 33-48 % besitzen (HEGI, 1979). Das *Iva xanthiifolia* besiedelt in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet meist Ödland, Ruderalstellen und landwirtschaftliche Flächen; in trockenen Gebieten kommt es auch entlang von Flussläufen vor (FOLLAK, 2009). Es bevorzugt mäßig frische, nährstoffreiche, humose, lockere bis schwach verdichtete sandige oder steinige Böden und ist sommerwärmeliebend. Die Einschleppung erfolgte ursprünglich mit Getreidetransporten aus Nordamerika, neuerdings auch aus der Ukraine. *Iva xanthiifolia* gilt in warmen Gebieten Mitteleuropas als einbürgert (HEGI, 1979).

2.2 Gewächshausversuch

Das Gewächshausexperiment wurde in den Jahren 2010 und 2011 als ein komplett randomisiertes Split-Split-Split-Plot-Design durchgeführt. Im Sommer 2010 und im Frühjahr 2011 wurden insgesamt 64 Pflanztöpfe (zu je 3 l Volumen) mit vier unterschiedlichen Mischsubstraten bestehend aus Sand, Ton, Torf und Lehm gefüllt und darin Unkrautsamen der Arten *Abutilon theophrasti*, *Datura stramonium* und *Iva xanthiifolia* zusammen mit Mais in einer Mischsaat ausgebracht. Das Saatgut stellte der neue Botanische Garten der Universität Göttingen zur Verfügung. Die Lagerung dieses erfolgte bei einer konstanten Temperatur von 6 °C im Dunklen. Die Hälfte der Gefäße wurde in ein beheizbares Beet überführt, die andere im Gewächshaus offen aufgestellt, sodass ein durchschnittlicher Temperaturunterschied von ca. 4 °C zwischen den beiden Varianten Kalt (offenes Gewächshaus) und Warm (beheizbares Beet) entstand. Des Weiteren wurde ein unterschiedliches Bewässerungsregime etabliert. Je nach Bodenart und Temperatur wurde die Hälfte der Töpfe ideal mit Wasser versorgt (Variante Feucht) und auf einen pF-Wert von 1,8 mit Hilfe der Wiegemethode bewässert, die andere Hälfte (Variante Trocken) zwischen pF 2,5 und 3 gegossen. Folglich haben jeweils vier Töpfe das gleiche Umweltregime erfahren. Insgesamt entstanden 16 verschiedene Kombinationen, in welchen die Keimung der Samen und die weitere Entwicklung für sechs Wochen gemessen wurden. Die Pflanzenanzahl wurde in den ersten 15 Tagen täglich bonitiert, in den folgenden Wochen an jedem vierten Tag. Die Bewässerung erfolgte an jedem dritten Tag. Nach sechs Wochen wurde die ganze Pflanze geerntet und deren Wurzeln ausgewaschen. Oberirdische Biomasse und die Wurzelmasse wurden bei 70 °C für 48 Stunden getrocknet. Wurzeln und Blätter wurden eingescannt, um die Wurzellänge und Blattflächenindex mit Hilfe der Software WinRhizo zu ermitteln. Insgesamt wurden 1536 *Iva xanthiifolia*-Samen zur Keimung gebracht (12 Samen je Topf x 4 räumliche Wiederholungen x 4 Bodensubstrate x 2 Temperaturstufen x 2 Bewässerungsstufen x 2 zeitliche Wiederholungen). Nach einer Ausdünnung auf eine Dichte von je 5 Pflanzen pro Art und Topf, wurden 512 Pflanzen geerntet.

2.3 Datenanalyse

Für die Berechnung der Keimrate wurde ein generalisiertes lineares Modell (glm) angewandt. Da die Daten der Keimung einer Poissonverteilung entstammen, ist dies in der Berechnung berücksichtigt worden. Die Pflanzmerkmale wurden mit einem linearen gemischten Modell (lme) analysiert und die Daten zuvor log-transformiert. Die Temperatur, wie auch die zeitliche und räumliche Wiederholung sind als Zufallseffekte im Modell angenommen worden, um das Versuchsdesign entsprechend zu kodieren. Normalität und Homogenität der Varianzen wurden optisch über die Inspektion der Residuen überprüft. Zum Schluss wurde bei beiden Modellen ein Post-hoc Vergleich der einzelnen Faktorkombinationen angewandt. Dabei wurde ein Bonferroni-korrigierter paarweiser t-Test und ein multipler Vergleich auf geringste signifikante Differenz angewandt. Die statistischen Auswertung erfolgte mit der Open Source-Software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

3. Ergebnisse

3.1 Keimung von *Iva xanthiifolia*

Die Analyse der Keimung (Abb. 1) mit einem generalisierten linearen Modell für die Abschlussbonitur zeigte, dass *Iva xanthiifolia* unter kalten Bedingungen höchst signifikant besser keimte ($R^2 = 0,83$, $p = 0,006$), als unter warmen Bedingungen. Die unterschiedlichen Bewässerungen und Bodensubstrate hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Keimrate im Gesamtmodell.

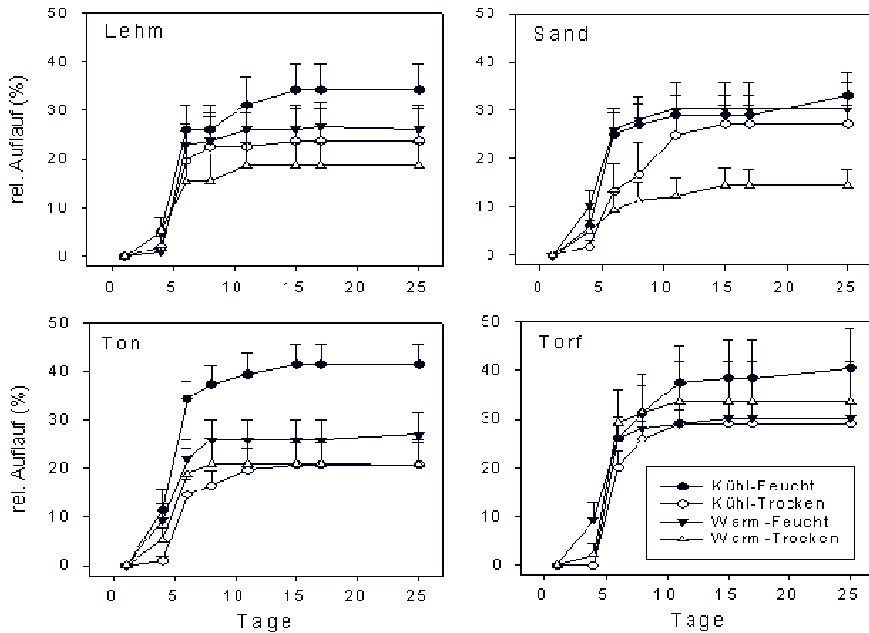


Abb. 1 Keimung von *Iva xanthiifolia* unter verschiedenen Umweltbedingungen (+1 SE).

Fig. 1 Germination of *Iva xanthiifolia* under different environmental conditions (+1 SE).

Die berechneten durchschnittlichen kumulativen Keimraten von *Iva xanthiifolia* unter den 16 Umweltbedingungen und die Ergebnisse der multiplen Vergleiche auf signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen je Bodensubstrat sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die Tabelle stellt die paarweisen Vergleiche eines jeden einzelnen Bodensubstrates (links) zu den jeweiligen Temperatur/Feuchtekombinationen (Spalten) dieses Bodens dar. Die Unterschiede zwischen den jeweiligen Böden wurden in der Tabelle nicht abgebildet. Im Vergleich der einzelnen Behandlungen in den Bodensubstraten untereinander konnte festgestellt werden, dass die Keimung in den Ton-, Sand- und Lösssubstraten bei wärmerer Temperatur und geringerer Bewässerung signifikant schlechter erfolgte, als in den kälteren und gut bewässerten Varianten.

Tab. 1 Paarweise Vergleiche der einzelnen Behandlungen je Bodensubstrat zur Keimung von *Iva xanthiifolia* und deren kumulative Keimrate (n = 1536; 2010/11).

Tab. 1 Cumulative germination rate and pairwise comparison of germination per treatment under different soil conditions (n = 1536; 2010/11).

Boden-substrat	Faktorkombinationen					Ø gekeimt [%] (± RSE)
	Kalt-Feucht	Kalt-Trocken	Warm-Feucht	Warm-Trocken		
Torf	Kalt-Feucht	-	n.s.	n.s.	n.s.	40,5 ± 8,23
	Kalt-Trocken	n.s.	-	n.s.	n.s.	29,1 ± 3,80
	Warm-Feucht	n.s.	n.s.	-	n.s.	30,2 ± 3,13
	Warm-Trocken	n.s.	n.s.	n.s.	-	33,5 ± 8,32
Ton	Kalt-Feucht	-	**	n.s.	**	41,5 ± 4,17
	Kalt-Trocken	**	-	n.s.	n.s.	20,7 ± 4,51
	Warm-Feucht	n.s.	n.s.	-	n.s.	27,1 ± 4,40
	Warm-Trocken	**	n.s.	n.s.	-	20,8 ± 5,44
Sand	Kalt-Feucht	-	n.s.	n.s.	**	33,2 ± 4,51
	Kalt-Trocken	n.s.	-	n.s.	n.s.	27,2 ± 4,05
	Warm-Feucht	n.s.	n.s.	-	*	30,3 ± 5,47
	Warm-Trocken	**	n.s.	*	-	14,6 ± 3,08
Lehm	Kalt-Feucht	-	n.s.	n.s.	*	34,3 ± 5,04
	Kalt-Trocken	n.s.	-	n.s.	n.s.	23,8 ± 6,40
	Warm-Feucht	n.s.	n.s.	-	n.s.	26,1 ± 5,08
	Warm-Trocken	*	n.s.	n.s.	-	18,7 ± 4,94

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$; nicht signifikant (n.s.) $P > 0.05$; RSE = relativer Standardfehler

3.2 Biomasseentwicklung und Wurzellänge von *Iva xanthiifolia*

Die Auswertung der Pflanzenmerkmale, Trockenbiomasse und Wurzellänge mit einem gemischten Modell ergab, dass sich Pflanzen in den warmen Varianten signifikant von denen der kälteren Varianten, sowohl bei der Biomasseentwicklung als auch bei der Wurzellängenausbildung, unterscheiden (Tab. 2). Pflanzen in der warmen Variante waren bei guter Wasserversorgung um 37-80 % kleiner und bei Trockenheit um bis zu 49 % im Wachstum reduziert. Die Wurzelentwicklung war in der warmen Behandlung bei schlechter Wasserversorgung um bis zu 87 % verringert. Signifikant negativ wirkte sich eine geringere Wasserverfügbarkeit auf die Biomasseentwicklung aus (Abb. 2). Das Wurzelwachstum wurde dadurch nicht beeinflusst. Einen signifikanten Einfluss auf das Wurzelwachstum hatten die Bodensubstrate Torf und Sand, in welchen längere Wurzeln ausgebildet wurden. Außerdem ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen zeitlichen Wiederholungen des Versuches. Bei getrennter Auswertung der Versuchsjahre konnte aber festgestellt werden, dass die entstanden Muster in den Versuchsjahren der gleichen Richtung folgten.

Tab. 2 Ergebnisse des gemischten Modells für die Pflanzenbiomasse und Wurzellänge (n = 512).

Tab. 2 Results of the mixed-effects model for dry plant biomass and root length (n = 512).

Faktor	Pflanzenbiomasse				Wurzellänge			
	df	Std. Fehler	t-Wert	p	df	Std. Fehler	t-Wert	p
Temp. Kalt	271	0,1207	-19,196	***	278	0,0958	18,879	***
Temp. Warm	6	0,2001	-4,2181	***	7	0,0713	-6,392	***
Boden Lehm	271	0,1374	-2,3333	*	278	0,1025	-1,478	n.s.
Boden Torf	271	0,1348	-1,3313	n.s.	278	0,0969	2,123	*
Boden Sand	271	0,1369	-0,4880	n.s.	278	0,1026	2,390	*
Bewässerung Trocken	271	0,1839	-2,4974	*	278	0,1330	-0,796	n.s.
Jahr Zwei	3	0,1257	4,6051	*	3	0,0916	17,162	***
Bew. Trocken: Jahr Zwei	271	0,2222	1,0730	n.s.	278	0,1559	-1,965	*

* $P < 0.05$, *** $P < 0.001$; nicht signifikant (n.s.) $P > 0.05$

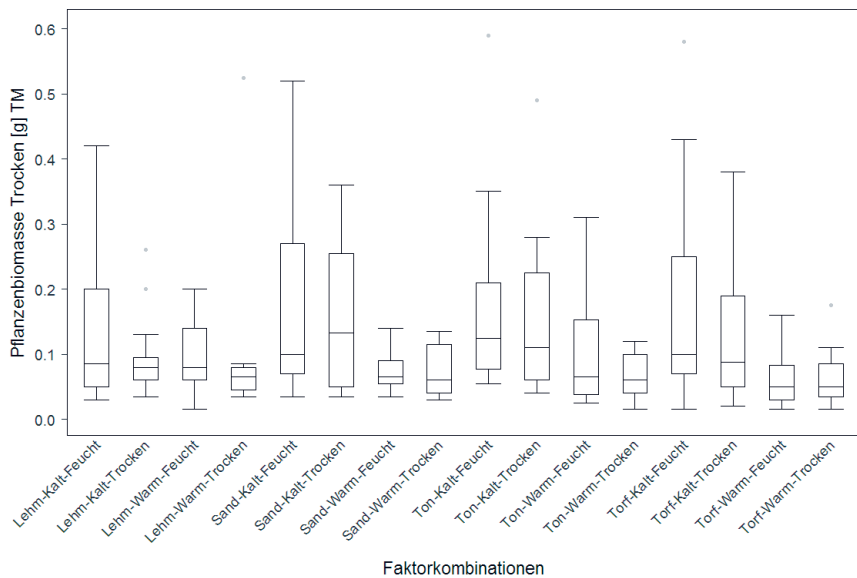


Abb. 2 Gesamte Pflanzenbiomasse [g] TM von *Iva xanthiifolia* unter verschiedenen Umweltbedingungen.

Fig. 2 Total dry plant biomass [g] of *Iva xanthiifolia* under different environmental conditions.

4. Diskussion

Die Temperatur wirkt auf alle Ökosystemprozesse sowohl positiv, wie auch negativ (WALTHER, 2010). In unserer Studie hatte eine Erhöhung der durchschnittlichen Temperatur um 4 °C negative Auswirkungen auf das Auflaufen, die Biomasseentwicklung und das Wurzelwachstums von *Iva xanthiifolia*. Negativ in unserem Versuch wirkte sich ebenso die Trockenheit auf die Keimung von Pflanzen in lehm-, sand- und tonigen Substraten aus. Der Wassermangel in der Keimphase machte sich bei den im Lehmsubstrat gezogenen Pflanzen auch in der Biomasseentwicklung bemerkbar. Die einzige positive Rückkoppelung stellte ein besseres Wurzelwachstum in sand- und torfhaltigen Substraten dar, was auf eine mögliche Adaption bei diesen Umweltgegebenheiten hinweist.

Diese Arbeit fokussierte sich ausschließlich auf Temperatur und Wasser als Haupteinflusseffekte und ließ u.a. die Länge der Wachstumsperiode, Extremerscheinungen, CO₂ Anreicherungen außer Acht. Diese Faktoren können sich ebenfalls auf die erhobenen Parameter auswirken und müssen bei Studien über den Klimawandel ebenfalls mit diskutiert werden.

Auf Basis der vorliegenden Studie schließen wir aber, dass eine mögliche Erwärmung, gefolgt von einer Wasserverknappung, sich nicht massiv förderlich auf eine Etablierung und Ausbreitung von *Iva xanthiifolia* in Norddeutschland auswirken wird. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch eine Studie in Österreich, die mit Hilfe des ökologisch-mathematischen Modell CLIMEX die potentielle Verbreitung von *Iva xanthiifolia* simulierte und befand, dass Österreich und knapp angrenzende Gebiete bereits außerhalb des potentiellen Verbreitungsgebietes von *Iva xanthiifolia* liegen (FOLLACK, 2009).

Die massenhafte Ausbreitung in Ungarn (HODI und TORMA, 2002) ist somit wahrscheinlicher auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen. Kommt es z.B. über Saatgutverunreinigungen zu einem verstärkten Einbringen in norddeutsche Agrarlandschaften, ist eine Etablierung in stark humosen Böden unter veränderten klimatischen Bedingungen am wahrscheinlichsten. Weitergehende Auswirkungen müssen zeigen, inwieweit die hier diskutierten Reaktionen im Vergleich mit der Reaktion anderer Unkrautarten zu interpretieren sind.

Danksagung

Die vorliegende Studie wurde unterstützt durch das niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur innerhalb des KLIFF Forschungsverbunds (Klimafolgenforschung und Anpassung in Niedersachsen). Des Weiteren danken wir der Abteilung Pedologie des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften und der Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen des Büsgen-Institutes (beide Georg-August-Universität Göttingen) für die bodenphysikalischen und -chemischen Analysen.

Literatur

- DONOHUE, K., R.R. DE CASAS, L. BURGHARDT, K. KOVACH UND C.G. WILLIS, 2010: GERMINATION, POSTGERMINATION ADAPTATION, AND SPECIES ECOLOGICAL RANGES. THE ANNUAL REVIEW OF ECOLOGY, EVOLUTION AND SYSTEMATICS **41**, 293-319.
- ELLENBERG, H., C. LEUSCHNER UND H. DIERSCHKE, 2010: VEGETATION MITTELEUROPAS MIT DEN ALPEN. IN ÖKOLOGISCHER, DYNAMISCHER UND HISTORISCHER SICHT. 6TH ED. ULMER, STUTTGART.
- FOLLACK, S., 2009: VORKOMMEN UND POTENZIELLE VERBREITUNG DES RISPENKRAUTS (*IVA XANTHIIFOLIA*) IN ÖSTERREICH. BOTANICA HELVETICA **119**, 7-12.
- FLORAWEB, 2011: DATEN UND INFORMATIONEN ZU WILDPFLANZEN. [HTTP://WWW.FLORAWEB.DE](http://www.floraweb.de).
- GARVE, E., UNTER MITARBEIT VON A. SCHACHERER, E. BRUNS, J. FEDER UND T. TÄUBER, 2007: VERBREITUNGSATLAS DER FARN- UND BLÜTENPFLANZEN IN NIEDERSACHSEN UND BREMEN. - NATURSCHUTZ LANDSCHAFTSPFL. NIEDERSACHS. H. **43**, 507 S.
- GRIME, J.P., 2007: PLANT STRATEGY THEORIES: A COMMENT ON CRAINE (2005). JOURNAL OF ECOLOGY **95**, 227-230.
- HEGI, G., 1979: ILLUSTRIRTE FLORA VON MITTELEUROPA. BAND VI, TEIL 3. PAREY, BERLIN, WEST GERMANY.
- HODI, L. UND M. TORMA, 2002: GERMINATION BIOLOGY OF *IVA XANTHIIFOLIA* NUTT. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 219-224.
- HODISAN, N., 2009: RESULTS OF THE RESEARCH ON THE ALLELOPATHIC EFFECT BETWEEN THE NEOPHYTE SPECIES, *IVA XANTHIIFOLIA* NUTT. ("IERBOAIA") AND SOME AGRICULTURAL CROPS. BULLETIN UJASMV AGRICULTURE **66**, 362-369.
- HOLT, R.D., 2009: BRINGING THE HUTCHINSONIAN NICHE INTO THE 21ST CENTURY: ECOLOGY AND EVOLUTIONARY PERSPECTIVES. PNAS **106**, 19659-19665.
- JÄGER, E., 1995: KLIMABEDINGTE AREALVERÄNDERUNGEN VON ANTHROPOCHOREN PFLANZEN UND ELEMENTEN DER NATÜRLICHEN VEGETATION. ANGEWANDTE LANDSCHAFTSÖKOLOGIE **4**, 51-57.
- METZING, D. UND A. GERLACH, 2008: KLIMAWANDEL IM NORDWESTEN: WIE REAGIEREN DIE PFLANZEN? EINBLICKE **48**, CARL VON OSSIETZKY UNIVERSITÄT OLDENBURG.
- NORDMEYER, H. UND A. HÄUSLER, 2004: EINFLUSS VON BODENEIGENSCHAFTEN AUF DIE SEGETALFLORA VON ACKERFLÄCHEN. JOURNAL OF PLANT NUTRITION AND SOIL SCIENCE **167**, 328-336.
- SOBERÓN, J. UND M. NAKAMURA, 2009: NICHES AND DISTRIBUTIONAL AREAS. CONCEPTS, METHODS, AND ASSUMPTIONS. PNAS **106**, 19644-19650.
- VAN GRUNSVEN, R.H.A., W.H VAN DER PUTTEN, T.M. BEZEMER UND E.M. VEENENDAAL, 2010: PLANT-SOIL FEEDBACK OF NATIVE AND RANGE-EXPANDING PLANT SPECIES IS INSENSITIVE TO TEMPERATURE. OECOLOGIA **162**, 1059-1069.

25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 13.-15. März 2012, Braunschweig

WALTHER, G.-R., 2010: COMMUNITY AND ECOSYSTEM RESPONSES TO RECENT CLIMATE CHANGE. PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY B-BIOLOGICAL SCIENCES **365**, 2019-2024.

WEBER, E. UND D. GUT, 2005: A SURVEY OF WEEDS THAT ARE INCREASINGLY SPREADING IN EUROPE. AGRONOMY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT **25**, 109-121.

Phenology of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) populations grown in northern Germany

Phänologie von Samtpappel (Abutilon theophrasti Medic.)-Populationen in Norddeutschland

Paula R. Westerman*, Josefine Diesterheft & Bärbel Gerowitt

Professur Phytomedizin, Institut für Landnutzung, Agrar- und umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Satower Str. 48, 18051 Rostock, Germany

*Corresponding author, paula.westerman@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.076

Summary

Velvetleaf, *Abutilon theophrasti* Medic., is an important arable weed worldwide. It is currently not present in the northern regions of Europe, but there are reasons why it may move northwards: 1) The weed has not reached the northern edge of its climatic range, 2) increasing temperatures, caused by climate change, will create more suitable growing conditions in northern areas, or 3) the weed will adapt to cooler habitats. Velvetleaf has an indeterminate growth, meaning that the reproductive output largely depends on the length of the growing season, which is determined by the timing of emergence and seed production. The purposes of this preliminary study were: 1) To evaluate the growth potential of *A. theophrasti* in the Northern German state of Mecklenburg-Vorpommern and 2) to compare the phenology of populations from different European origins to evaluate the degree of adaptation to local climatic conditions.

Forty 5 L pots were buried in the soil flush with the soil surface, 10 velvetleaf seeds of one of four populations from Spain, the Czech Republic, southern Germany or France were seeded in spring 2010 and subsequent emergence was recorded. In summer, plants were thinned to one seedling per pot and subsequent capsule production was recorded until the first frost.

French and Spanish velvetleaf populations germinated earlier, produced capsules later, and tended to produce fewer capsules per plant than did populations from southern Germany or the Czech Republic. In addition, French and Spanish populations had a lower percentage of dormant seeds. These differences are in agreement with observations and predictions made for the northward expansion of velvetleaf in North America.

Velvetleaf could grow and reproduce in northern Germany but further phenological changes, in particular a shorter growing season, a higher reproductive output and a higher level of physical dormancy, are to be expected as adaptations to local climatic conditions.

Keywords: Northward expansion, timing of emergence, timing of reproduction

Zusammenfassung

Die Samtpappel, *Abutilon theophrasti* Medic., ist weltweit ein wichtiges Ackerunkraut. Zur Zeit kommt es nicht in den nördlichen Regionen Europas vor, aber es gibt Gründe, weshalb es sich in den Norden ausbreiten könnte: 1) Das Unkraut mag seine klimatischen Grenzen im Norden noch nicht erreicht haben, 2) durch steigende Temperaturen, verursacht durch den Klimawandel, könnten sich die nördlichen Gebiete besser zum Wachstum eignen, oder 3) das Unkraut könnte sich an die kälteren Lebensräume anpassen. Das Wachstum der Samtpappel ist indeterminiert, d. h., dass die Vermehrungsrate hauptsächlich von der Dauer der Vegetationsperiode abhängt, welche vom Zeitpunkt der Keimung und der Samenproduktion bestimmt wird. Die Ziele dieser Vorstudie waren: 1) Erfassung des Wachstumspotentials von *A. theophrasti* in Mecklenburg-Vorpommern, Norddeutschland und 2) Vergleich der Phänologie von Populationen verschiedener Herkünfte Europas um die Anpassung an die lokalen Klimabedingungen zu beurteilen.

Vierzig 5 L-Töpfe wurden eben zur Bodenoberfläche eingegraben. Im Frühjahr 2010 wurden je 10 Samtpappelsamen von einer der vier Populationen aus Spanien, der Tschechischen Republik, Süddeutschland oder Frankreich ausgesät und der anschließende Keimungszeitpunkt erhoben. Im Sommer wurde auf einen Sämling pro Topf ausgedünnt und die folgende Fruchtentwicklung wurde bis zum ersten Frost aufgezeichnet.

Die französischen und spanischen Populationen keimten früher, fruchteten später und neigten dazu, weniger Kapseln pro Pflanze auszubilden als die deutschen oder tschechischen Populationen. Darüber hinaus hatten die französischen und spanischen Populationen einen geringeren Anteil an dormanten Samen. Diese Unterschiede stimmen mit den in Nordamerika gemachten Beobachtungen und Vorhersagen zur nördlichen Ausbreitung der Samtpappel überein.

Die Saampappel könnte sich in Norddeutschland etablieren, doch weitere phänologische Veränderungen, insbesondere eine kürzere Wachstumsperiode, eine höhere Vermehrungsrate und ein höherer Grad der physikalischen Keimruhe können als Anpassungen an die lokalen Klimabedingungen erwartet werden.

Stichwörter: Nördliche Ausbreitung, Zeitlicher Ablauf der Vermehrung, Zeitpunkt der Keimung

1. Introduction

Velvetleaf, *Abutilon theophrasti* Medic., is an important arable weed worldwide. It is present in southern and middle European countries, but not in northern regions. There are three reasons why velvetleaf may move further northward: 1) the weed hasn't reached the northern edge of its climatic range yet because of a slow expansion rate, 2) the weed is at the edge of its climatic range but increasing temperatures, caused by climate change, will make northern areas more suitable to the weed, or 3) the weed is at the edge of its climatic range but can adapt to cooler habitats.

Velvetleaf is on the short-list of species that are expected to exhibit range expansions in North America (CLEMENTS and DiTOMMASO, 2011), mainly because of its association with grain maize which cultivation is moving northward thanks to breeding efforts (co-adaptation). Although the weed is already present in many locations, populations are too small to cause economic damage. However, MCDONALD et al. (2009) estimated that the so-called 'damage niche' could advance 200-650 km northward in North America because populations of velvetleaf tend to evolve rapidly. In southern Germany, the weed is mainly associated with sugar beets (MEINLSCHMIDT, 2006).

Weeds have the potential to adapt rapidly to changing environments, either through phenotypic plasticity or evolution, and there is increasing evidence that climate change may be an important driver for these adaptations (e.g., CLEMENTS and DiTOMMASO, 2011). *Abutilon theophrasti* grows indeterminately, meaning that the reproductive output largely depends on the length of the growing season. Weed characteristics associated with adaptations under climate change and northward expansion include a high growth rate and a short generation time (CLEMENTS and DiTOMMASO, 2011). WARWICK and BLACK (1986) found large differences among populations of velvetleaf in morphometric and life-history traits that were correlated with latitude and climate. They found, for example, a negative correlation between growing degree days (GDD) and the number of capsules per plant or the percentage dormant seeds, and a positive correlation with seed weight, indicating that populations from more northern locations produced more but lighter seeds that were more dormant than those from more southern locations.

Comparing the projected climate for the years 2071-2100 with that for 1961-1990, SCHUCHARDT et al. (2008) predict a 1.5-3.7 °C increase in the average daytime temperature, a decrease in the number of frost days and a 30 % decrease in summer precipitation for Germany. These changes have resulted in a lengthening of the growing season by 0.11-0.49 days per year over the 1951-2000 period (MENZEL et al., 2003). The greatest changes result from the lengthening of the frost-free period. *Abutilon theophrasti* may benefit from these changes.

The purposes of this preliminary study were: 1) To evaluate the growth potential of *A. theophrasti* in the northern German state of Mecklenburg-Vorpommern and 2) to compare the phenology of populations from different European origins to evaluate the degree of adaptation to local climatic conditions.

2. Materials and methods

Seeds of local velvetleaf populations were obtained from Spain (collected: Lleida, 2008), the Czech Republic (Prague, 2008), southern Germany (Dresden, 2003) and France (Dijon, 2006). Seed viability and hardseededness were determined for three samples of 100 seeds of each population (N), using a germination test in 9 cm Petri-dishes lined with moist filter paper at 35/25 °C (14/10 h) for 7 days, followed by a viability stain with triphenyl tetrazolium chloride (0.1 % TTC; 3 ml/dish) at 30 °C for 24 h. Prior to exposure to TTC, the seed coat was carefully cut to allow imbibition. The proportion of viable seeds, P_v , was calculated as $(N-N_d)/N$, with N_d the number of non-viable seeds, identified as non-germinated, non-stained seeds. The proportion of hard-seeded seeds, P_h , was calculated as N_h/N , with

N_h , the number of hard seeds, identified as hard, non-germinated seeds at the end of the germination test but viable when stained with TTC.

In spring 2010, forty 5 L pots were filled with local soil (sandy soil, 2.1-2.2 % organic matter) and buried in the soil flush with the soil surface in a field at the Plant Experimental Station of the University of Rostock (54° 3'42.85"N; 12°5'1.07"E), Mecklenburg-Vorpommern, Germany. Ten velvetleaf seeds of one of the four populations were seeded in ten randomly selected pots on 27 April and subsequent emergence was recorded. The proportion of germinated seeds, P_g , was calculated as $N_g/10$, with N_g the cumulative number of seedlings. Because spring 2010 was very dry, pots were irrigated when required. Pots were fertilized using a granular fertilizer at a rate equivalent to 104 kg N/ha on 5 May. Early May, slug pellets (Matarex, 5 % metaldehyde, 0.02 g/pot) were added twice to protect the weed seedlings from snails and slugs. On 25 June, plants were thinned to one seedling per pot and subsequent capsule production, \bar{S} , was recorded until the first frost (6 October 2010). The average date of emergence, \bar{G} , and the average date of reproduction, \bar{R} , were calculated as a weighted average, with the number of emerged plants and the number of capsules as weights, respectively. The length of the season, L , was estimated as $L = \bar{R} - \bar{G}$. The number of seeds per capsule, \bar{C} , was counted for 10 randomly selected capsules per velvetleaf population.

Regression models with a logit link and a binomial variance function allowing for overdispersion (Genstat 11) were used to test for the effect of population origin on P_v , P_h and P_g . Regression models with a log link and a poisson variance function were used to test for the effect of population origin on the total number of capsules per plant, \bar{S} , and the number of seeds per capsule, \bar{C} . Soil temperature was recorded once per hour at 5 cm depth, using two data loggers (Lasca EL-USB-2). Air temperature and precipitation were obtained from a meteorological station on site (HENNEBERG, 2011).

3. Results

The monthly air temperature at 2 m, soil temperature at 5 cm and precipitation from April-October are summarized in Table 1.

The proportion of viable seeds, P_v , differed significantly between velvetleaf populations ($p = 0.016$; Tab. 2), caused by the fact that P_v of the German population (0.88) was lower than for the other populations. The proportion of hard seeds, P_h , differed significantly between populations ($p < 0.001$), with the lowest value for the Spanish population (0.09), followed by the French population (0.19) and the populations from Germany and the Czech Republic (0.41 and 0.38, respectively; Tab. 2). The proportion of germinated seeds in the field test, P_g , did not differ significantly between velvetleaf populations ($p = 0.494$).

Tab. 1 Monthly minimum and average air temperature at 2 m, cumulative monthly precipitation (after HENNEBERG, 2011), and monthly minimum and average soil temperature at 5 cm for the experimental field at the Plant Experimental Station of the University of Rostock, Mecklenburg-Vorpommern, Germany, from April-October 2010.

Tab. 1 *Monatliche tiefste und mittlere Lufttemperaturen in 2 m Höhe, monatlicher Gesamtniederschlag (nach Henneberg, 2011) und die monatlichen tiefste und mittlere Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe für den Zeitraum des Feldversuchs vom April bis Oktober 2011 in der Versuchstation der Universität Rostock, Mecklenburg-Vorpommern, Deutschland.*

	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Minimum air temperature [°C]	-2.6	-1.9	4.9	7.3	7.6	2.0	-3.3
Average air temperature [°C]	7.4	9.0	14.8	20.5	16.6	12.2	7.7
Precipitation [mm]	12.0	90.7	34.6	15.3	138.5	85.3	47.3
Minimum soil temperature [°C]	7.3*	4.1	10.7	14.5	11.8	8.7	7.4**
Average soil temperature [°C]	13.8*	12.4	18.4	23.8	17.8	13.6	10.9**

* started 27 April at 12:00 h.; ** terminated 6 October at 12:00 h.

Tab. 2 Characterization of four populations of *Abutilon theophrasti* in terms of the proportion of hard seeds (P_h), viable seeds (P_v), germinated seeds in the field trial, P_g , mean emergence date (\bar{G}), mean reproduction date (\bar{R}), length of the growing season (L), mean capsule production per plant (\bar{S}), and the mean number of seeds per capsule (\bar{C}). Values within a row followed by the same letter are not significantly different from each other (t-test; $\alpha = 0.05$).

Tab. 2 Darstellung der vier *Abutilon theophrasti*-Populationen in Bezug auf den Anteil an harten Samen (P_h), lebensfähigen Samen (P_v), gekeimten Samen im Feldversuch (P_g), mittlerem Keimzeitpunkt (\bar{G}), mittlerem Vermehrungszeitpunkt (\bar{R}), Länge der Vegetationsperiode (L), durchschnittlicher Kapselproduktion pro Pflanze (\bar{S}), und der durchschnittlichen Samenanzahl pro Pflanze (\bar{C}). Die Werte einer Zeile mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (t-test; $\alpha = 0,05$).

<i>Abutilon theophrasti</i> origin				
Parameter	Germany	Czech Republic	France	Spain
P_h [mean \pm SE]	0.41 \pm 0.02 c	0.38 \pm 0.04 c	0.19 \pm 0.03 b	0.09 \pm 0.00 a
P_v [mean \pm SE]	0.88 \pm 0.04 a	0.94 \pm 0.01 ab	0.99 \pm 0.01 b	0.99 \pm 0.01 b
P_g [mean \pm SE]	0.29 \pm 0.05	0.27 \pm 0.04	0.32 \pm 0.07	0.38 \pm 0.04
\bar{G} [date]	2-Jun	3-Jun	12-May	22-May
\bar{R} [date]	25-Sep	24-Sep	25-Sep	27-Sep
L [days]	115	113	136	128
\bar{S} [capsules/plant]	14.1 \pm 5.1	38.5 \pm 10.5	11.5 \pm 2.8	22.0 \pm 9.6
\bar{C} [seeds/capsule]	30.1 \pm 1.8 b	40.9 \pm 0.9 b	28.6 \pm 2.6 a	37.0 \pm 2.2 b

There were subtle differences in the timing of emergence between velvetleaf populations (Fig. 1A), resulting in a 12 days difference in \bar{G} between populations (Tab. 2). Capsule production increased over time (Fig. 1B) and differed between populations, resulting in a three days difference in \bar{R} . The length of the growing season, L , was shortest for the population from the Czech Republic (113 days) and longest for the population from France (136 days). Cumulative capsule production, \bar{S} , did not differ significantly between populations ($p = 0.067$), although \bar{S} tended to be higher for the Czech population than for the other populations. Seed production per capsule, \bar{C} , was significantly lower for the French population than for the other populations ($p = 0.002$).

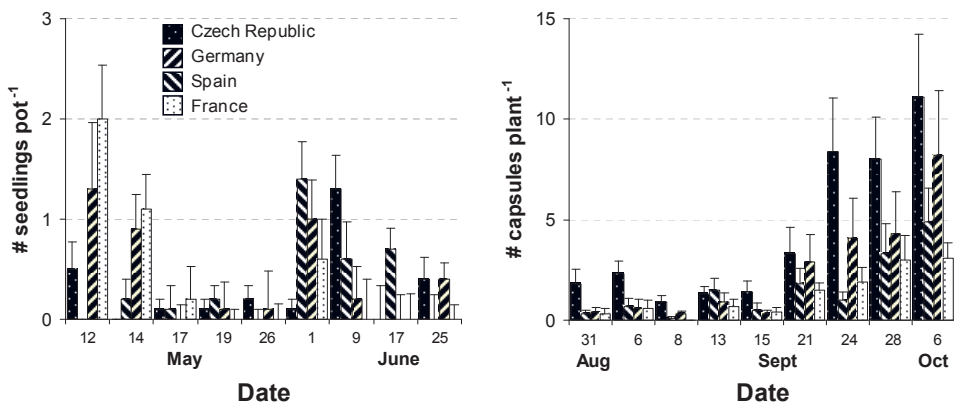


Fig. 1 Seedling emergence (A) and capsule production (B) for *Abutilon theophrasti* originating from the Czech Republic, Germany, Spain, and France and when grown in pots in Rostock, Mecklenburg-Vorpommern, Germany ($N=10$; mean \pm SE).

Abb. 1 Keimlingsentwicklung (A) und Fruchtproduktion (B) von *Abutilon theophrasti*-Populationen aus der Tschechischen Republik, Deutschland, Spanien, und Frankreich kultiviert in Töpfen in Rostock, Mecklenburg-Vorpommern, Deutschland ($N=10$; Mittelwert + Standardfehler).

4. Discussion

All four velvetleaf populations, originating from different European countries, successfully emerged, grew and reproduced in northern Germany. This would suggest that the main reason for the absence of *A. theophrasti* from fields in northern Germany is that velvetleaf has not expanded so far north yet. Once in the region, climatic conditions would then not be a constraint and populations could persist. However, that conclusion is premature. Weather conditions in 2010 were favourable for velvetleaf. For example, there was only one day of frost in spring (5 May; -1.9 °C), which occurred before seedling emergence (12 May). Minimum soil temperature was as high as 4 °C (5 May 2010). The first day of frost in autumn occurred on 6 October 2010. Consequently, the growing season was long enough (147 days) for all populations to be able to complete their life cycle and reproduce profusely. The only concession we made to the prevalent climatic conditions was irrigation. Precipitation was 24, 38 and 53 mm below the local long-term average (1976-2008; HENNEBERG, 2011), in April, June and July, respectively. Had irrigation been omitted, most seedlings would have succumbed to drought. For a true evaluation of the growth potential of southern populations of velvetleaf under the climatic conditions in northern Germany, this experiment would have to be repeated over a number of years.

The four velvetleaf populations differed with regard to their phenology and reproductive output. In general, the velvetleaf populations originating from France and Spain had a lower proportion of dormant seeds, germinated earlier and required a longer growing season than did populations from southern Germany or the Czech Republic. This is in agreement with observations by WARWICK and BLACK (1986) and predictions by CLEMENTS and DiTOMMASO (2011). Although we did not specifically relate weather data in the four countries of origin to phenological characteristics, it is likely that the observed differences in *A. theophrasti* are adaptations to the local climatic conditions. In regions where a late frost in spring is unlikely, such as north-eastern Spain or mid France, the risks of population failure caused by early emergence and a low proportion of physical dormancy are low, assuming that velvetleaf seedlings are sensitive to frost. However, these risks are much higher in the Czech Republic and southern Germany, where late spring frosts are more likely. This could explain the higher proportion of hardseededness and the later date of emergence.

The Czech population combined the shortest growing season with the highest reproductive output ($\bar{S} \times \bar{C} \approx 1575$ seeds/plant), which is also in agreement with WARWICK and BLACK (1986) and CLEMENTS and DiTOMMASO (2011), who conducted trials in cooler regions. Additional morphological or physiological adaptations that allow higher seed production must have been involved. These could include a shifted allocation of resources in favour of reproductive organs and leaves, or a better photosynthetic efficiency. However, these growth-related traits were not investigated in this study. The southern German population performed unexpectedly poor in this respect.

Although all four tested velvetleaf populations prospered in 2010, it is unlikely that velvetleaf populations that are currently growing in more southern locations will be able to establish under prevalent climatic conditions in Northern Germany. On the North American continent, however, velvetleaf has shown a remarkable ability to adapt to cooler climates (WARWICK and BLACK, 1986), and we expect the same to happen in Europe. The higher reproductive output, higher proportion of dormant seeds and shorter growing season in populations from the Czech Republic and southern Germany may be features that allow a northward expansion.

Acknowledgements

We would like to thank N. Colbach (INRA-Dijon, France), B. Baraibar (University of Lleida, Spain), E. Meinlschmidt (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Germany) and J. Soukup (Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic) for kindly providing velvetleaf seeds of local populations.

References

Clements, D.R. and A. DiTommaso, 2011: CLIMATE CHANGE AND WEED ADAPTATION: CAN EVOLUTION OF INVASIVE PLANTS LEAD TO GREATER RANGE EXPANSION THAN FORECASTED? WEED RESEARCH **51**, 227-240.

- HENNEBERG, M., 2011: WETTERSTATION, SATOWERSTRASSE. [HTTP://WWW2.AUF.UNI-ROSTOCK.DE/LL/SCHWERPUNKTE/WETTERSTATION/WETTERSTATION.HTML](http://www2.auf.uni-rostock.de/LL/SCHWERPUNKTE/WETTERSTATION/WETTERSTATION.HTML) (LAST ACCESSED 9 OCTOBER 2011).
- McDonald, A., S. Riha, A. DiTommaso AND A. DeGaetano, 2009: CLIMATE CHANGE AND THE GEOGRAPHY OF WEED DAMAGE: ANALYSIS OF U.S. MAIZE SYSTEMS SUGGEST THE POTENTIAL FOR RANGE TRANSFORMATIONS. *AGRICULTURE, ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* **130**, 131-140.
- MEINLSCHMIDT, E., 2006: *ABUTILON THEOPHRASTII* MED. ON ARABLE LAND IN SAXONY - RESULTS OF MONITORING IN THE YEARS 2002-2004 AND MANAGEMENT RECOMMENDATIONS. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION* **SPECIAL ISSUE XX**, 487 - 492.
- MENZEL, A., G. JAKOBI, R. AHAS, H. SCHEIFINGER AND N. ESTRELLA, 2003: VARIATIONS IN THE CLIMATOLOGICAL GROWING SEASON (1951-2000) IN GERMANY COMPARED WITH OTHER COUNTRIES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY* **23**, 793 - 812.
- SCHUCHARDT, B., S. WITTIG, P. MAHRENHOLZ, K. KARTSCHALL, C. MÄDER, C. HASSE AND A. DASCHKEIT, 2008: GERMANY IN THE MIDST OF CLIMATE CHANGE. ADAPTATION IS NECESSARY. GERMAN FEDERAL ENVIRONMENT AGENCY (UMWELTBUNDESAMT). [HTTP://WWW.UMWELTDATEN.DE/PUBLIKATIONEN/FPDF-L/3500.PDF](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3500.pdf) (LAST ACCESSED 10 OCTOBER 2011).
- Warwick, S.I. AND L.D. Black, 1986: GENECOLOGICAL VARIATION IN RECENTLY ESTABLISHED POPULATIONS OF *ABUTILON THEOPHRASTI* (VELVETLEAF). *CANADIAN JOURNAL OF BOTANY* **64**, 1632-1643.

Occurrence of horse nettle (*Solanum carolinense* L.) in North Rhine-Westphalia

Auftreten der Carolinischen Pferdenessel (*Solanum carolinense* L.) in Nordrhein-Westfalen

Günter Klingenhagen^{1*}, Martin Wirth², Bernd Wiesmann² & Hermann Ahaus²

¹Chamber of Agriculture, North Rhine-Westphalia, Plant Protection Service, Nevinghoff 40, 48147 Münster, Germany

²Chamber of Agriculture, North Rhine-Westphalia, district station Coesfeld, Borkener Straße 25, 48653 Coesfeld, Germany

*Corresponding author, guenter.klingenhagen@lwk.nrw.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.077

Summary

In autumn 2008 during corn harvest (*Zea mays* L.), the driver of the combine harvester spotted an unfamiliar plant species in the field. It turned out that *Solanum carolinense* L. was the unknown weed species. The species had overgrown 40 % of the corn field which had a size of 10.2 ha. The farmer who usually effectively controls all weeds on his field had so far not noticed the dominance of the solanaceous herb species. From his point of view, the weed must have germinated after the corn had covered the crop rows. On the affected field, corn is grown in monoculture since 1973. When the horse nettle was first spotted in October 2008, the plants had reached a height of about 120 cm, rhizomes had grown 80 cm deep and a horizontal root growth of 150 cm could be determined. In the following season (2008/2009), winter wheat was grown instead of corn on the respective field. This was followed by two years of winter rye (2009/2010 and 2010/2011). The change in crop rotation plus an application of ROUNDUP ULTRA MAX[®] (glyphosate) and SIMPLEX[®] (fluroxypyr + aminopyralid) had a significant influence on the biomass of horse nettle roots, rhizomes and shoots. A reduction of up to 75 % could be observed until autumn 2011. Apart from that, an experimental trial showed that SIMPLEX[®] (fluroxypyr + aminopyralid), GARLON 4[®] (triclopyr), ARRAT[®] (dicamba + tritosulfuron) + DASH[®] (adjuvant), MAISTER FLÜSSIG[®] (foramsulfuron + iodosulfuron), LAUDIS[®] (tembotrione), ROUNDUP ULTRA MAX[®] and especially ARRAT[®] + DASH[®] + PEAK[®] (prosulfuron) were suitable for the suppression of *Solanum carolinense* L..

Keywords: Arrat[®], corn, crop rotation, Dash[®], long term reduction, Peak[®], rhizomes, Simplex[®]

Zusammenfassung

Während der Körnermisernte im Herbst des Jahres 2008 fiel dem Drescherfahrer eine unbekannte Unkrautpflanze auf. Es stellte sich heraus, dass es sich um *Solanum carolinense* L. handelte. Unter dem Mais waren ca. 40 % des 10,2 ha großen Schlages mit der Pflanze befallen. Dem Landwirt, der sehr auf eine gute Unkrautkontrolle achtet, war das Nachtschattengewächs bis dahin nicht aufgefallen. Aus seiner Sicht erfolgte eine oberirdische Entwicklung erst nachdem der Mais die Reihen geschlossen hatte. Auf dem betroffenen Schlag wird seit 1973 Mais in Monokultur angebaut. Als die Carolinischen Pferdenessel im Oktober 2008 wahrgenommen wurde, hatte sie eine Höhe von etwa 120 cm erreicht. Wurzeläusläufer reichten bis 80 cm in die Tiefe und auch eine horizontale Ausbreitung der Wurzelrhizome bis 150 cm war festzustellen. In der folgenden Saison (2008/2009) wurde anstelle von Mais Winterweizen angebaut. In den darauffolgenden Jahren 2009/2010 und 2010/2011 folgte Winterroggen. Durch die Änderung der Fruchtfolge und dem Einsatz von ROUNDUP ULTRA MAX[®] (Glyphosat) und SIMPLEX[®] (Fluroxypyr + Aminopyralid) konnte die Biomasse der Carolinischen Pferdenessel, in Form von Wurzeln, Wurzeläusläufern und Stängeln, deutlich reduziert werden. Im Herbst 2011 war eine Reduktion um bis zu 75 % zu beobachten. Unabhängig davon zeigte ein Versuch, dass SIMPLEX[®], GARLON 4[®] (Triclopyr), ARRAT[®] (Dicamba + Tritosulfuron) + DASH[®] (Additiv), MAISTER FLÜSSIG[®] (Foramsulfuron + Iodosulfuron), LAUDIS[®] (Tembotrione), ROUNDUP ULTRA MAX[®] und insbesondere ARRAT[®] + DASH[®] + PEAK[®] (Prosulfuron) geeignet sind um *Solanum carolinense* L. zu unterdrücken.

Stichwörter: Arrat[®], Dash[®], Fruchtfolge, Langzeitwirkung, Mais, Peak[®], Rhizome, Simplex[®]

1. Introduction

The invasive plant species *Solanum carolinense* L. belongs to the family of the solanaceae. It is a rootstock-forming perennial weed and is native to the Gulf States in the South-Eastern part of the United States (BASSETT and MUNRO, 1986). Meanwhile, it is classified as domestic in the North of Mexico, in 31 states of the US and South-Canada. In North America, the plant currently occupies almost its full range of suitable climates (FOLLAK and STRAUSS, 2010). *S. carolinense* also dispersed to

Bangladesh, India, Nepal, Japan, Australia, New Zealand, Haiti, Brasilia and the Georgian Republic (MILLER, 2003 by EBERWEIN and LITSCHER, 2005). In Japan, *S. carolinense* has spread over the whole country and causes serious control problems (MIYAZAKI, 2005). Within the former USSR, it occurs in Abkhazia, Adzharia, Mingrelian and Gurian regions of Western Georgia and it is sporadically distributed in the Far East, Ukraine and Moldova (LARINA, 2009). In Austria, *S. carolinense* was recorded in a corn field in 2004 near Pischeldorf in Carinthia. Seeds of *S. carolinense* have been imported to Europe via contaminated soybean seeds from Canada (FOLLAK and STRAUSS, 2010). A risk analysis for Central Europe by FOLLAK and STRAUSS (2010) showed that climatically suitable conditions for *S. carolinense* L. can be found in Hungary (100 % of the total land area), Poland (83.6 %), followed by Slovenia (70.5 %), Slovakia (64.5 %), Germany (41.5 %), Czech Republic (37 %), Austria (34.9 %) and Switzerland (16.6 %). The plant develops rapidly under hot temperatures and can tolerate high level of drought (BRADBURY and ALDRICH, 1957 by NAPPO, 2003). In the United States, *S. carolinense* is listed under the top ten of the most serious weeds (EBERWEIN and LITSCHER, 2005).

2. Materials and methods

Solanum carolinense L. was observed during corn harvest in autumn 2008 on a field near Coesfeld, North Rhine-Westphalia (Germany). The so far unknown plant was identified as *Solanum carolinense* L. by Wilfried Sagemann, a member of the Plant Protection Service of North Rhine-Westphalia. The solanaceous herb had infested about 40 % of the field that has a size of 10.2 ha. The field is characterized by a sandy soil with 23-26 soil-points, a pH of 5.7 and nutrition contents of 38 mg P₂O₅/100 g soil, 10 mg K₂O /100 g soil and 8 mg MgO/100 g soil. On the field, corn has been grown in monoculture since 1973. That the horse nettle was not recognized before may be due to the fact that the harvest is usually conducted by a contractor and/or that the plants might have been covered by the corn cob mix (ccm) straw after harvest. In 2008, it became evident that the plants had spread in the direction of tillage operations. Normally, ploughing was conducted in autumn after one or two times of harrowing.

Field chronology since detection of the horse nettle in October 2008:

- 2008-10-23: Ploughing with packer.
- 2008-10-24: Seeding of winter wheat.
- 2008-10-30: Herbicide application with 50 g/ha SUMIMAX® (flumioxazin) and 0.2 l/ha HEROLD SC® (flufenacet + diflufenican).
- 2009-08-04: Harvest of the winter wheat, straw was removed from the field. No stubble tillage.
- 2009-09-08: Part of the field which contained the horse nettle (4 ha) treated with 2 l/ha SIMPLEX® after getting regulatory permission to use SIMPLEX® according to § 18b Plant Protection Act.
- 2009-09-18: Herbicide application of 4 l/ha ROUNDUP ULTRA MAX® against common couch-grass (*Elymus repens* L.) on the whole field.
- 2009-10-10: Ploughing with packer.
- 2009-10-13: Seeding of winter rye.
- 2009-10-26: Herbicide application of 0.4 l/ha HEROLD SC®.
- 2010-08-06: Harvest of the winter rye, straw was removed from the field.
- 2010-09-15: Application of 5 l/ha TAIFUN FORTE® (glyphosate) + 5 kg/ha SSA® (sulfat acid ammonia) against common couch-grass (*E. Repens*) and horse nettle (*S. carolinense*) on the whole field.
- 2010-10-11: Ploughing with packer.
- 2010-10-14: Seeding of winter rye.
- 2010-10-29: Herbicide application of 0.4 l/ha HEROLD SC®.
- 2011-08-01: Harvest of the winter rye, straw was removed from the field.
- 2011-08-10: Tillage with simultaneous seeding of break crop (10 kg/ha) containing 50 % mustard (*Sinapsis arvensis*) and 50 % of radish (*Raphanus sativus*).

In early spring 2010, 2000 m² of the winter rye crop were killed with 3.0 l/ha ROUNDUP ULTRA MAX®. The

open parts of the field were than occupied by the horse nettle in the course of the following vegetation period. On this part of the field, a herbicide trial with three replications and a plot size of 3 m x 4 m was set up using a randomised block design with 16 herbicide variants (including an untreated control, Tab. 1). Plots with the different herbicide variants were randomly distributed next to each other within each of the three blocks.

On the 22 July 2010 at BBCH grow stage 49-51 and about 40 cm plant height of the horse nettle, the first application of the different herbicides was conducted. The employed herbicides were: SIMPLEX[®] + DASH[®], GARLON 4[®], HARMONY SX[®] (thifensulfuron), ARRAT[®], MAIS BANVEL WG[®] (dicamba), PEAK[®], MILAGRO FORTE[®] (nicosulfuron), MAISTER FLÜSSIG[®], EFFIGO[®] (clopyralid + picloram), LAUDIS[®], B-235[®] (bromoxynil), ROUNDUP ULTRA MAX[®] and SSA[®]. To prevent seed setting of *S. carolinense*, all plots were treated with 2.0 l/ha SIMPLEX[®] + 1.0 l/ha DASH[®] on 11 September 2010 at BBCH grow stage 69-79. At that time, the plants had reached a height of about 55 cm. Herbicide treatments were applied with an experimental spraying device, equipped with airmix antidrift 11003 nozzles. The herbicides were sprayed in 300 liters water per ha with a pressure of 2.3 bar. The efficacy of the treatments was assessed during the season and again in August of the following year.

3. Results

By alteration of the crop rotation (replacement of corn by winter cereals) plus herbicide treatments the biomass of roots and rhizomes of the horse nettle plants could be reduced by up to 75 %. The horse nettle did not occur in the competitive winter cereals. Only in open spaces, like the tractor tracks, small shoots of the horse nettles were observed. The efficacy of the herbicide application carried out by the farmer in autumn could not be easily estimated as the visible impact on the plants was not substantial. Only some change of leaf color from green to light green and a limping of the shoots could be observed. Nevertheless, after the application of 2.0 l/ha SIMPLEX[®] on 8th September 2009, roots and rhizomes of treated plants were assessed by the LUFA for aminopyralid residues (Official diagnostic laboratory in Hameln, Germany). The sample was collected on the 13 October 2009 and contained 0.487 mg aminopyralid/kg plant material.

Tab. 1 Efficacy of herbicide applications against *Solanum carolinense* L. assessed in 2010 and 2011.

Tab. 1 Wirkung von Herbizidbehandlungen gegen *Solanum carolinense* L. bonitiert in 2010 und 2011.

No.	Spraying date: 22.07.2010 BBCH 49-51 Product (l/kg/ha)	2010-	2010-	2010-	2010-	2011-
		07-28	08-20	09-20	09-11	08-31
		% cover (untreated)/ % efficacy (treatments)			Product (l/ha)	% cover/ % efficacy
1	Untreated	33	38	40		70
2	(only second spray – 11.09.2010)	0	0	0		30
3	Simplex [®] 2.0	60	90	90		86
4	Simplex [®] 2.0 + Dash [®] 1.0	63	92	95		84
5	Garlon 4 [®] 2.0	49	80	80		84
6	Harmony SX [®] 0.045 + Dash [®] 1.0	35	63	60		73
7	Arrat 0.2 [®] + Dash [®] 1.0	46	85	85		85
8	Mais Banvel WG [®] 0.5 + Dash [®] 1.0	25	53	40	Simplex [®] 2.0	60
9	Peak [®] 0.020 + Dash [®] 1.0	43	63	55		48
10	Milagro Forte [®] 0.75	25	70	65	+	58
11	Milagro Forte [®] 0.75 + Peak [®] 0.02	40	70	75		65
12	Arrat [®] 0.2 + Dash [®] 1.0 + Peak [®] 0.02	44	78	90	Dash [®] 1.0	95
13	Milagro F [®] . 0.75 + M. Banvel WG [®] 0.5	33	35	50		84
14	Maister flüssig [®] 1.5	38	70	80		82
15	Effigo 0.35 [®] + Peak [®] 0.02	40	50	50		70
16	Laudis [®] 2.0 + B 235 [®] 0.5	45	85	90		65
17	Roundup Ultra Max [®] 4.0 + SSA [®] 5.0	47	80	85		86

The results of the herbicide plot trial are shown in Table 1. Not included in the table are treatments with U 46 M-FLUID[®] (MCPA), U 46 D-FULID[®] (2.4 D) and EFFIGO[®]. All three had little impact on the horse nettles. Therefore, these plots had to be sprayed again in mid August 2010 with other herbicide products. On 9th August 2010, herbicide efficacy (reduction of top growth) was estimated at 20 % (U

46 M-FLUID[®]), 33 % (U 46 D-FLUID[®]) and 10 % (EFFIGO[®]). In comparison, SIMPLEX[®] showed, at the same time, an efficacy of 80 %. Beside that, the impact of U 46 M-FLUID[®] on the horse nettle plants was interesting. It enhanced plant development so that the plants reached the flowering stage earlier.

4. Discussion

Solanum carolinense L. is described as an extremely competitive weed. It infests corn, other cereal crops, potatoes, soybeans, tomatoes, alfalfa and other perennial crops, gardens, pastures and waste lands (LARINA, 2009). Apart from the described case of *S. carolinense* in the region of Coesfeld (North Rhine-Westphalia, Germany), no horse nettle was found on fields in the neighborhood. So it can be assumed that the establishment of *S. carolinense* in Coesfeld is correlated to the continuous cultivation of corn (*Zea mays* L.) since 1973. It can be speculated that seeds of *S. carolinense* were introduced on the field with corn seeds from abroad. The likelihood of this assumption may be increased by the fact that corn variety trials have been carried on the respective farm for more than 20 years. The replacement of corn by winter cereals in the crop rotation was helpful in controlling *S. carolinense*. Except in open spaces where daylight reached the ground, *S. carolinense* did not germinate. Besides the reduced light intensity this may also have been influenced by soil temperature.

Chemical control of *S. carolinense* seems to be difficult. Even so, in the course of the herbicide program, long-term activity of up to 95 % could be achieved. When treating an uncovered weed stand, the repeated application (twice) was most promising. However, this is not possible for every crop species. BRADLEY and HAGOOD (2009) found that BEACON[®] (primisulfuron) + BANVEL[®] (dicamba) provided the highest level of horse nettle suppression with an efficacy of 74 %. However, horse nettle populations were not reduced by any of the herbicides applied in the experiment when assessed one year after herbicide treatment. These lower levels of horse nettle control commonly observed in corn may be due to a lack of translocation of these herbicides from the foliage to the root systems. Previous studies have illustrated that the maximum translocation of herbicides into the roots occurs when horse nettle plants are in the early- to mid-blooming growth stages (WHITWELL et al., 1980).

Due to the displacing of roots, rhizomes or seeds, *S. carolinense* has a very high capacity for spatial dispersal. To prevent the establishment and therefore serious consequences for agriculture (FOLLAK and STRAUSS, 2010), crop rotation is a suitable measurement.

References

- BRADBURY, H.E. AND R.J. ALDRICH, 1957: SURVEY REVEALS EXTENT OF HORSE NETTLE INFESTATION. NEW JERSEY AGRICULTURE **39**, 4-7.
- BASSET, I.J. AND D.B. MUNRO, 1986: THE BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS. 78. *SOLANUM CAROLINENSE* L. AND *SOLANUM ROSTRATUM* DUNAL. CANADIAN JOURNAL OF PLANT SCIENCES **66**, 977-991.
- BRADLEY, K. AND E.S. HAGOOD, 2009: IDENTIFICATION AND CONTROL OF HORSENETTLE (*SOLANUM CAROLINENSE* L.) IN VIRGINIA. VIRGINIA COOPERATIVE EXTENSION, PUBLICATION 450-142.
- EBERWEIN, K. AND T. LITSCHER, 2005: *SOLANUM CAROLINENSE* L. (SOLANACEAE), EIN GEFÄHRLICHER NEUBÜRGER IN ÖSTERREICH. RUDOLFINUM M, JAHRBUCH DES LANDESMUSEUMS KÄRNTEN, 325-330.
- FOLLAK, S. AND G. STRAUSS, 2010: POTENTIAL DISTRIBUTION AND MANAGEMENT OF THE INVASIVE WEED *SOLANUM CAROLINENSE* IN CENTRAL EUROPE. WEED RESEARCH **50**, 544-552.
- LARINA, S.Y., 2009: INTERACTIVE AGRICULTURAL ECOLOGICAL ATLAS OF RUSSIA AND NEIGHBORING COUNTRIES. ECONOMIC PLANTS AND THEIR DISEASES, PESTS AND WEEDS. [HTTP://WWW.AGROATLAS.RU/EN/CONTENT/WEEDS/SOLANUM_CAROLINENSE](http://www.agroatlas.ru/en/content/weeds/solanum_carolinense).
- MILLER, S., 2003: PEST FACT SHEET *SOLANUM CAROLINENSE* L. – NAPPO NORTH AMERICAN PLANT PROTECTION ORGANISATION, OTTAWA, ([HTTP://WWW.NAPPO.ORG/PRA-SHEETS/FACTSHEETSUMMARYFINAL-2.PDF](http://www.nappon.org/PRA-SHEETS/FACTSHEETSUMMARYFINAL-2.PDF)).
- MIYAZAKI, K., 2005: VEGETATIVE REPRODUCTION OF HORSE-NETTLE (*SOLANUM CAROLINENSE* L.) BY ITS EXTENSIVE ROOT SYSTEM. ROOT RESEARCH **14**, 99-104.
- NAPPO (NORTH AMERICAN PLANT PROTECTION ORGANISATION), 2003: PEST FACT SHEET *SOLANUM CAROLINENSE* L. NAPPO – PRA / GRAINS PANEL, OCTOBER.
- WHITWELL, T., P. BANK, E. BASLER AND P.W. SANTELMANN, 1980: GLYPHOSATE ABSORPTION AND TRANSLOCATION IN BERMUDAGRASS (*CYNEDON DACTYLON*) AND ACTIVITY IN HORSE NETTLE (*SOLANUM CAROLINENSE*). WEED SCIENCE **28**, 93-96.

Ansätze zur integrierten Bekämpfung der Beifuß-Ambrosie

Integrated control of Ambrosia artemisiifolia

Arnd Verschwele^{1*}, Birte Waßmuth² & Uwe Starfinger³

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig

²Dr. Knoell Consult GmbH, Dynamostraße 19, D-68165 Mannheim

³Julius Kühn-Institut, Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig

*Corresponding author, arnd.verschwele@jki.bund.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.078

Zusammenfassung

Im Rahmen eines einjährigen EU-Projekts wurden unterschiedliche chemische und mechanische Methoden zur Bekämpfung von *Ambrosia artemisiifolia* untersucht. Es werden Gefäß- und Feldversuche beschrieben, die 2009 in Deutschland durchgeführt wurden. Florasulam, Mesotrione und Mecoprop-P erwiesen sich als wirksame herbizide Wirkstoffe, sofern sie bis zum BBCH-Stadium 14 von *A. artemisiifolia* appliziert werden. Der nicht-selektive Wirkstoff Glyphosat erreicht auch noch zum späteren Entwicklungsstadium einen hohen Bekämpfungserfolg. Insgesamt wurden Wirkungsgrade von 79 bis 100 % erzielt. Das Schneiden bzw. Hacken war weder auf Kiesflächen noch im Gras- und Maisbestand ausreichend wirksam. Selbst eine Wiederholung der mechanischen Bekämpfung führte nicht in allen Fällen zu einer weiteren Reduzierung der Spross-Trockenmasse. Sämtliche direkte Bekämpfungsmethoden konnten den Neuaustrieb und damit die Samenbildung nicht vollständig verhindern. *A. artemisiifolia* erwies sich als äußerst konkurrenzschwach, wie Versuche in Sommergerste zeigten. Mit abnehmender Bestandesdichte und Konkurrenz musste die Dosis von Mecoprop-P erhöht werden, um denselben Wirkungsgrad zu erreichen. Unter konkurrenzfreien Bedingungen erreichte die höchste geprüfte Dosis (1200 g/ha Mecoprop-P) einen Wirkungsgrad von 84 %. Bei einer Bestandesdichte von 300 Pflanzen/m² hatte die Herbizidapplikation dagegen keinen signifikanten Effekt auf die Sprossmasse der Beifuß-Ambrosie. Diese Ergebnisse belegen die hohe Bedeutung, die vorbeugenden Maßnahmen wie Fruchtfolge und die Etablierung konkurrenzstarken Beständen für eine dauerhafte Zurückdrängung von *A. artemisiifolia* zukommt.

Stichwörter: Herbizide, Konkurrenz, Mähen, Physikalische Bekämpfung, Schneiden

Summary

The control of *Ambrosia artemisiifolia* by chemical and mechanical means was studied in a single year EU Project which was conducted in 2009. Results of pot and field trials from Germany are presented. Florasulam, Mesotrione and Mecoprop-P applied before BBCH 14 of *Ambrosia artemisiifolia* were effective control agents. Only the none-selective herbicide Glyphosat provided a high control when applied at later BBCH stages. Overall mean efficacy rates between 79 % and 100 % were achieved. Both physical control measures, cutting and hoeing, did not result in satisfying control results. The effect of physical weed control was tested on gravel, in grassland and in maize. Even a repeated mechanical control did not increase the efficacy which was assessed in terms of dry matter reduction. None of the physical control measures was able to stop the growth of *A. artemisiifolia* plants and their seed production. Ambrosia is not very competitive as trials in spring barley demonstrated. At decreasing crop densities and competition higher dose rates of Mecoprop-P were needed to achieve the same control level. Under crop-free conditions the efficacy of the highest tested dosage (1200 g ha⁻¹ Mecoprop-P) was 84 %. However, at a crop density of 300 plants/m² the herbicide application could not significantly reduce the biomass of *A. artemisiifolia*. The results highlight the importance of preventative measures of good agricultural practice as e.g. crop rotation and dense competitive crop stands. In the long run, these measures are crucial for a long-term successful control of *A. artemisiifolia* in agricultural fields.

Keywords: Competition, cutting, herbicides, mowing, physical control

1. Einleitung

Ambrosia artemisiifolia, die Beifußblättrige Ambrosie, ist eine invasive Pflanzenart, die in den letzten Jahren verstärkt auch in Deutschland aufgetreten ist (ALBERTERNST et al., 2006). *A. artemisiifolia* ist eine einjährige Art, die auf die regelmäßige Samenbildung angewiesen ist, um sich zu etablieren und eine Population aufbauen zu können. Dieser Lebenszyklus muss durch Bekämpfungsmaßnahmen unterbrochen werden, um die weitere Ausbreitung zu verhindern (BOHREN et al., 2008). Die Pollen dieser Pflanze können starke allergische Reaktionen (z.B. Heuschnupfen) beim Menschen hervorrufen, zudem tritt sie zunehmend als Unkraut auf landwirtschaftlichen Flächen und auf Nichtkulturland auf (STARFINGER, 2008; Abb. 1). Einzelpflanzen in Gärten oder an Wegrändern können am besten durch Ausreißen bekämpft werden. Tritt Ambrosia jedoch in größerer Anzahl auf, ist eine chemische oder physikalische Bekämpfung die einzige praktikable Lösung. Um bei den aktuellen rechtlichen Vorgaben auch langfristig gute Regulierungserfolge zu erzielen, müssen zukünftig verstärkt integrierte Bekämpfungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Ziel des im Rahmen des Euphresco-Programms geförderten Projekts war es, zunächst ein europäisches Netzwerk aufzubauen und Lösungsansätze zur Bekämpfung und Zurückdrängung der Beifuß-Ambrosie weiter zu entwickeln.



Abb. 1 *Ambrosia artemisiifolia* in Sonnenblumen und am Straßenrand (Drebkau, Juli 2011).

Fig. 1 *Ambrosia artemisiifolia* in sunflower and at roadside (Drebkau, July 2011).

2. Material und Methoden

Die hier beschriebenen Gewächshaus- und Freilandversuche wurden 2009 in Deutschland durchgeführt. Mehrjährige Versuche waren leider aufgrund der einjährigen Projektlaufzeit des Euphresco-Projekts nicht möglich. Die Versuche der Projektpartner aus Dänemark, Slowenien und der Schweiz werden lediglich in der Diskussion berücksichtigt. Weitere Details zur Methodik der Versuche sind bei HOLST (2010) beschrieben.

2.1 Herbizidwirkungen bei unterschiedlicher Konkurrenz

a) Gefäßversuch

In einem Gefäßversuch wurden beispielhaft die Wechselwirkungen zwischen Herbiziddosis und Kulturkonkurrenz, simuliert durch abgestufte Pflanzendichten von Sommergerste, untersucht. Der Versuch beinhaltete folgende Varianten:

<u>Faktor</u>	<u>Stufe</u>
1. Mecoprop-P-Dosis	1. 1/16 N = 75 g/ha
	2. 1/8 N = 150 g/ha
	3. 1/4 N = 300 g/ha
	4. 1/2 N = 600 g/ha
	5. 1/1 N = 1200 g/ha
2. Bestandesdichte Sommergerste	1. 0 Pflanzen/m ²
	2. 75 Pflanzen/m ²
	3. 150 Pflanzen/m ²
	4. 300 Pflanzen/m ²
	5. 600 Pflanzen/m ² (= 16 Sommergerste-Pflanzen je Gefäß)
3. Entwicklungsstadium	1. GS1: Ambrosia und Sommergerste in BBCH 12
	2. GS2: Ambrosia in BBCH 12 und Sommergerste in BBCH 14

Je Gefäß (Ø 19 cm) wurde eine Ambrosiapflanze pikiert. Der Versuch wurde in 4-facher Wiederholung angelegt und nach 9 Wochen zum Zeitpunkt der Ambrosiasamen-Reife beendet. Die Herbizidbehandlungen erfolgten zum BBCH-Stadium 16 (GS1) und BBCH 14 (GS2) mit einem Wasservolumen von 300 l/ha in einem stationären Spritzstand.

b) Feldversuch

Mit ähnlicher Fragestellung wurde ein Feldversuch ebenfalls mit Sommergerste in abgestuften Bestandsdichten durchgeführt. Dabei wurden Ambrosiapflanzen (BBCH 12-14) in Dichten zu fünf Pflanzen/m² in 3 m² große Parzellen gepflanzt. Die Herbizidapplikation erfolgte, als ca. 80 % der Pflanzen das BBCH-Stadium 16-18 erreicht hatten. In einer Kernparzelle von 1 m² wurden zu vier Terminen Pflanzenhöhe, Schäden und Entwicklungsstadium der Pflanzen bonitiert. Mit der Bestimmung der Trockenmasse der Ambrosiapflanzen 8 und 12 Wochen nach der Herbizidapplikation (vor bzw. nach der Gerstenernte) endete der Versuch. Folgende Faktoren wurden geprüft:

<u>Faktor</u>	<u>Stufe</u>
1. Herbizid	1. Mecoprop-P (1200 g/ha)
	2. Tribenuron-methyl (22,5 g/ha)
	3. Unbehandelt
2. Bestandesdichte Sommergerste	1. 0 Pflanzen/m ²
	2. 150 Pflanzen/m ²
	3. 300 Pflanzen/m ²
	4. 600 Pflanzen/m ²

2.2 Chemische Bekämpfung in Nichtkulturland

Dieser Versuch wurde in 4-facher Wiederholung auf einer kulturfreien Ackerfläche angelegt, um die Wirksamkeit verschiedener Herbizide zu vergleichen. Bevor *A. artemisiifolia* in einer Dichte von 5 Pflanzen/m² im BBCH-Stadium 12-14 gepflanzt wurde, wurde die gesamte Fläche mit Glyphosat (1440 g/ha) behandelt und anschließend geeeggt. Die Parzellengröße betrug 6 m², in einer Kernparzelle von 1 m² wurden zu vier Terminen Pflanzenhöhe, Schäden und Entwicklungsstadium der Pflanzen bonitiert. Mit der Bestimmung der Spross-Trockenmasse endete der Versuch 35 Tage nach der Herbizidapplikation. Der Versuch beinhaltete folgende Varianten:

<u>Faktor</u>	<u>Stufe</u>
1. Herbizid	1. Mecoprop-P (1200 g/ha) 2. Florasulam (7,5 g/ha) 3. Mesotrione (150 g/ha) 4. Glyphosat (1440 g/ha) 5. Clopyralid (100 g/ha) 6. Unbehandelt
2. Behandlungstermin	1. BBCH 14 2. BBCH 18

2.3 Mechanische Bekämpfung in Nichtkulturland

In einem Kleinparzellenversuch auf einer Kies- und Grasfläche wurde in 4-facher Wiederholung die Wirkung unterschiedlicher Behandlungsmethoden und -termine untersucht:

<u>Faktor</u>	<u>Stufe</u>
1. Standort	1. Kiesfläche 2. Grasfläche
2. Behandlungsart	1. Schnitt + Herbizid nach 14 Tagen 2. Herbizid + Schnitt nach 14 Tagen 3. 2 x Schnitt im Abstand von 14 Tagen 4. 3 x Schnitt im Abstand von 7 Tagen 5. Unbehandelt
3. Behandlungstermin	1. H1: Ambrosia- Pflanzenhöhe 10-15 cm (BBCH 21-25) 2. H2: Ambrosia- Pflanzenhöhe 15-20 cm (BBCH 55-59)

Die Ambrosiapflanzen wurden am 04.06.2009 im BBCH-Stadium 14 zu Dichten von fünf Pflanzen je m² gepflanzt. Sämtliche Behandlungen erfolgten im Zeitraum vom 02.07.2009 bis 23.07.2009. Das Schneiden erfolgte per Hand bei 8 cm über dem Boden. Als Herbizid wurde Duplosan KV (600 g/l Mecoprop-P) mit einer Aufwandmenge von 2 l/ha eingesetzt.

2.4 Mechanische Bekämpfung in Mais

In einem Feldversuch in der Nähe von Braunschweig wurden am 30.04.2009 direkt nach der Maissaat Ambrosiasamen eingesät und nach dem Auflaufen in Kernparzellen je 1m² auf 5 Pflanzen vereinzelt. Folgende Varianten wurden in 4-facher Wiederholung geprüft:

<u>Faktor</u>	<u>Stufe</u>
1. Behandlungsart	1. Hacken + Herbizid nach 14 Tagen 2. Herbizid + Hacken nach 14 Tagen 3. 2 x Hacken im Abstand von 14 Tagen 4. 1 x Hacken 5. Herbizid 6. Unbehandelt
2. Behandlungstermin	1. H1: Ambrosia-Pflanzenhöhe 5-8 cm 2. H2: Ambrosia-Pflanzenhöhe 12-15 cm

Als Herbizid wurde einheitlich Callisto (100 g/l Mesotrione) mit einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha eingesetzt, gehackt wurde mit einer Hätzenbichler-Rollhacke (3 m Arbeitsbreite, im Frontanbau). Zu vier Terminen wurden Pflanzenhöhe, Schäden und Entwicklungsstadium von *A. artemisiifolia* bonitiert. Mit der Bestimmung der Spross-Trockenmasse endete der Versuch 35 Tage nach der letzten Behandlung.

3. Ergebnisse

3.1 Herbizidwirkungen bei unterschiedlicher Konkurrenz

a) Gefäßversuch

Erwartungsgemäß nahm die Wirkung von Mecoprop-P mit steigender Dosis zu, wobei bereits bei der halben zugelassenen Dosis der maximale Wirkungsgrad erzielt wurde. Tendenziell waren umso höhere Aufwandmengen für denselben Bekämpfungserfolg erforderlich je geringer die Konkurrenz bzw. die Pflanzendichte der Sommergerste war. Bei höchster Dichte hatte der Herbizideinsatz keinen signifikanten Effekt auf die Trockenmasse von *A. artemisiifolia* (Abb. 2).

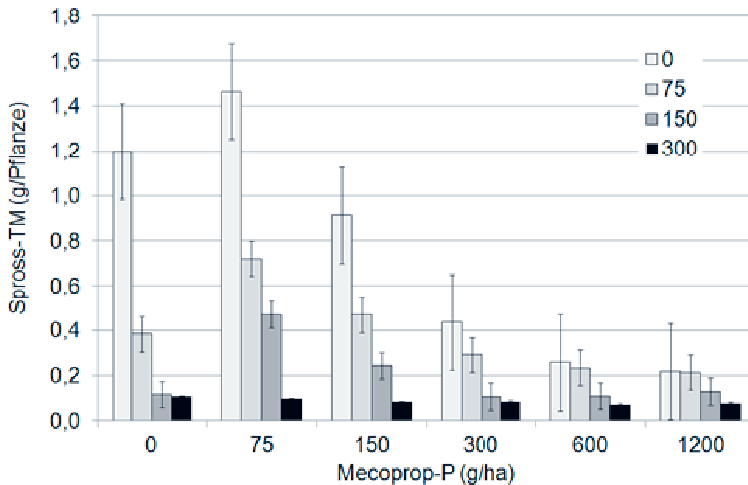


Abb. 2 Spross-Trockenmasse (g/Pflanze) von *Ambrosia artemisiifolia* in Abhängigkeit von Mecoprop-P-Dosis und Pflanzendichte der Sommergerste (0, 75, 150, 300 Pflanzen/m²).

Fig. 2 Shoot dry matter (g/plant) of *Ambrosia artemisiifolia* treated with different dosages of Mecoprop-P, grown in competition with different densities of barley (0, 75, 150, 300 plants/m²).

b) Feldversuch

In dem Feldversuch in Sommergerste zeigte Tribenuron-methyl eine deutlich bessere Wirkung als Mecoprop-P (Abb. 3). Hier war auch der erneute Austrieb nach der Ernte der Sommergerste am schwächsten. Auffällig war dagegen der starke Sprossmasse-Zuwachs der Ambrosiapflanzen, die mit Mecoprop-P behandelt worden waren.

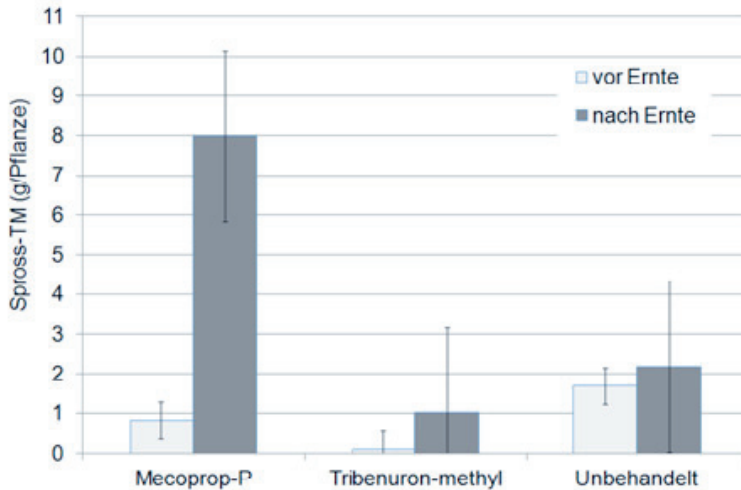


Abb. 3 Spross-Trockenmasse (g/Pflanze) von *Ambrosia artemisiifolia* vor und nach der Ernte der Sommergerste nach Behandlung mit Mecoprop-P und Tribenuron-methyl (Mittelwerte und Standardabweichung über alle Dichten).

Fig. 3 Shoot dry matter (g/plant) of *Ambrosia artemisiifolia* before and after harvest of barley treated with Mecoprop-P und Tribenuron-methyl (mean values and standard deviation of all densities).

3.2 Chemische Bekämpfung in Nichtkulturland

Die fünf geprüften Herbizidwirkstoffe erreichten befriedigende bis sehr gute Wirkungsgrade von 84 % bis 100 % (Tab. 1). Mit späterer Behandlung fiel der Bekämpfungserfolg deutlich ab. Lediglich Glyphosat und in gewissem Umfang auch Florasulam, zeigten auch noch in BBCH 18 eine gute Wirkung. *A. artemisiifolia* erreichte in der unbehandelten Variante Wuchshöhen von 31 cm (BBCH 14) bis 50 cm (BBCH 18), nach Herbizidbehandlung maximal 9 bis 22 cm (BBCH 14-18).

Tab. 1 Wirkungsgrade von fünf Herbizidwirkstoffen gegen *Ambrosia artemisiifolia* zu zwei unterschiedlichen Behandlungsterminen (BBCH 14, BBCH 18).

Tab. 1 Efficacy against *Ambrosia artemisiifolia* of five herbicide active substances at two different dates of treatment (BBCH 14, BBCH 18).

Herbizid	BBCH 14	BBCH 18
Clopyralid	87 %	84 %
Florasulam	97 %	92 %
Glyphosat	100 %	98 %
Mecoprop-P	91 %	85 %
Mesotrione	97 %	79 %

3.3 Mechanische Bekämpfung in Nichtkulturland

Die alleinige mechanische Bekämpfung von *Ambrosia* (2- bzw. 3-maliger Schnitt) erwies sich sowohl im Grasbestand als auch auf der Kiesfläche in ihrer Wirkung als unzureichend. Besonders stark unterschieden sich die Behandlungen auf der Grasfläche, wo die Kombination von Schnitt mit nachfolgender Herbizidbehandlung den höchsten Bekämpfungserfolg erbrachte (Abb. 4). Ohne Behandlung erreichten die Einzelpflanzen auf der Kiesfläche ein Sprossgewicht von 141 g/Pflanze und auf der Grasfläche 7 g/Pflanze Trockenmasse.

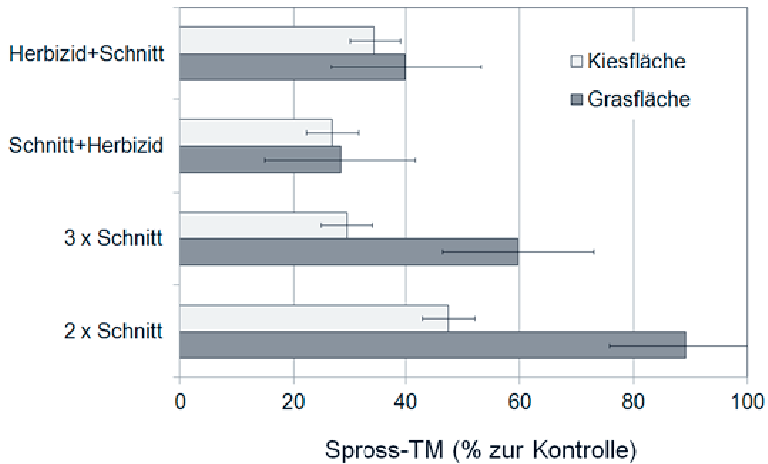


Abb. 4 Effekt unterschiedlicher Herbizid- und Schnittmaßnahmen auf die Spross-Trockenmasse von *Ambrosia artemisiifolia*.

Fig. 4 Effect of different herbicide and cutting measures on shoot dry matter of *Ambrosia artemisiifolia*.

3.4 Mechanische Bekämpfung in Mais

Ähnlich wie im zuvor beschriebenen Versuch in Nichtkulturland zeigte auch der Versuch in Mais, dass mechanische Maßnahmen allein zu keinem befriedigenden Ergebnis führten. Mit einem Wirkungsgrad von 91 % und 95 % bei später bzw. früher Behandlung hatte die einmalige Herbizid-Maßnahme dagegen einen sehr hohen Bekämpfungserfolg (Abb. 5). Unterschiede in Bezug auf die Entwicklungsgeschwindigkeit wurden aber zum Versuchsende nicht festgestellt. So konnte durch die Entwicklungsstörung, die die direkten Behandlungen auslösten, in allen Varianten die Samenproduktion zwar deutlich verhindert werden, neue Seitensprosse bildeten sich aber selbst nach späterem Hacktermin. Das frühe Hacken förderte zudem das Längenwachstum der Beiß-Ambrosie.

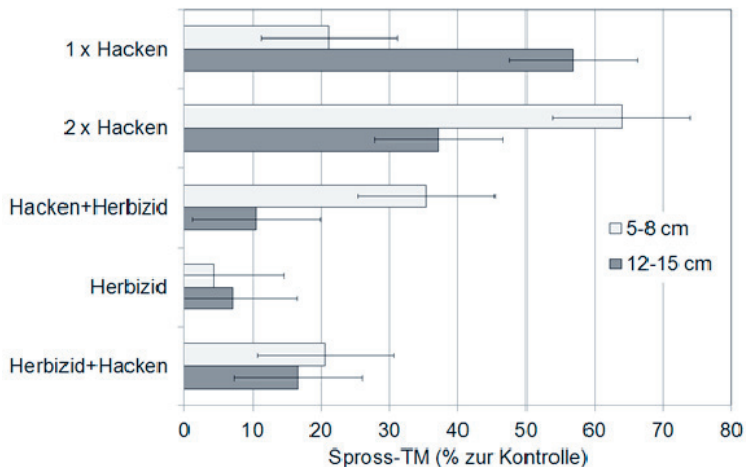


Abb. 5 Spross-Trockenmasse nach unterschiedlichen Herbizid- und Hackmaßnahmen in Mais in Abhängigkeit der Wuchshöhe von *Ambrosia artemisiifolia*.

Fig. 5 Shoot dry matter of *Ambrosia artemisiifolia* treated with different herbicide and hoeing measures in maize at different plant heights of *Ambrosia artemisiifolia*.

4. Diskussion

Die Untersuchungen bestätigen die hohe und sichere Wirkung verschiedener Herbizide gegen die Beifuß-Ambrosie. Eine frühe Applikation ist in den meisten Fällen jedoch nötig, denn ab dem 6-8-Blattstadium nimmt die Sensitivität von *A. artemisiifolia* zumindest bei selektiven Wirkstoffen deutlich ab (WASSMUTH und VERSCHWELE, 2009). Splitting-Behandlungen sind im Vergleich zur einmaligen Applikation grundsätzlich nicht effektiver. Auch BOHREN (2008) und SCHRÖDER und MEINLSCHMIDT (2009) konnten in ihren Versuchen eine Reihe von hoch wirksamen Herbiziden finden. Aufgrund der aktuellen Zulassungssituation ist jedoch vor allem in Lückenindikationen wie Erbsen oder Sonnenblumen (siehe Abb. 1) die Auswahlmöglichkeit begrenzt, so dass zusätzlich nichtchemische Verfahren eingesetzt werden müssen, um langfristig gegen dieses Unkraut erfolgreich zu sein.

Die oben beschriebenen Versuche in Sommergerste zeigen, welche wichtige Rolle die Konkurrenzkraft des umgebenden Pflanzenbestandes spielt: Da *A. artemisiifolia* außerordentlich empfindlich gegenüber Konkurrenz ist, müssen unter Ackerbaubedingungen Fruchtfolge und ggf. auch die Sortenwahl entsprechend optimiert werden. Sommerannuelle Kulturen mit weitem Reihenabstand wie Sonnenblumen und Kartoffeln sind hier besonders gefährdet.

Unsere Versuche zeigten, dass eine ausschließlich mechanische Bekämpfung der Beifuß-Ambrosie wenig erfolgreich ist. Auch die in gleicher Weise durchgeführten Versuche des Projekts in Dänemark, Slowenien und in der Schweiz bestätigen dieses Ergebnis (HOLST, 2010). Wiederholtes Schneiden bzw. Hacken führt bei der Beifuß-Ambrosie zur verstärkten Ausbildung von Seitentrieben, die mitunter horizontal über dem Boden verlaufen. Für Nichtkulturland-Flächen, z.B. Wege, Plätze oder Straßenränder, an denen nur die Pollen- und Samenbildung verhindert werden muss, kann ein einmaliges und spätes Mähen daher ausreichen, wenn der Zeitpunkt richtig gewählt wird (BOHREN et al., 2008). Die Anwendung von Herbiziden ist auf derartigen Flächen aufgrund des gesetzlich vorgeschriebenen Genehmigungsverfahrens nach §6 PflSchG ohnehin schwierig. Um möglichst gezielt vorzugehen und um Konkurrenzeffekte zu nutzen, sollte der nicht-selektive Wirkstoff Glyphosat nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden.

In landwirtschaftliche Kulturen geht es jedoch nicht nur um Verhinderung der Samenproduktion, sondern auch um die Verringerung der Unkrautkonkurrenz. Hier müssen vorrangig vorbeugende Maßnahmen wie die Gestaltung der Fruchtfolge zum Einsatz kommen. Ein hoher Anteil konkurrenzschwacher Sommerkulturen z.B. kann in Verbindung mit mangelhafter Stoppelbearbeitung vor allem in ökologisch wirtschaftenden Betrieben zur Massenausbreitung der Beifuß-Ambrosie führen. Letztlich bleibt die hohe Empfindlichkeit gegenüber Konkurrenz ein Schlüsselfaktor zur Bekämpfung und Zurückdrängung von *A. artemisiifolia*. Der umgebenden Vegetation auf Nichtkulturlandflächen und der Etablierung konkurrenzstarker Bestände auf Ackerflächen kommt daher eine besondere Bedeutung für die Eindämmung der Beifuß-Ambrosie zu.

Weitere Ergebnisse des Projekts und Handlungsempfehlungen sind in einem Leitfaden (BUTTENSCHÖN et al., 2010) zusammengestellt, der in fünf Sprachen auf der Internetseite des Euphresco-Programms zur Verfügung steht (www.euphresco.org). Die Arbeiten zur Regulierung und Zurückdrängung werden seit dem 01.03.2011 in dem dreijährigem EU-Projekt „HALT Ambrosia“ fortgeführt (SÖLTER et al., 2012).

Danksagung

Die Autoren danken Frau Martina Kracht und Herrn Werner Löhr für die ausgezeichnete technische Unterstützung bei der Versuchsdurchführung. Das Projekt wurde vom europäischen Euphresco-Programm gefördert.

Literatur

ALBERTERNST, B., S. NAWRATH UND F. KLINGENSTEIN, 2006: BIOLOGIE, VERBREITUNG UND EINSCHLEPPUNGSWEGE VON *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* IN DEUTSCHLAND UND BEWERTUNG AUS NATURSCHUTZSICHT. NACHRICHTENBLATT DEUTSCHER PFLANZENSCHUTZDIENST **58**, 279–285.

- BOHREN C., 2008: *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L. – CONTROL MEASURES AND THEIR EFFECTS ON ITS CAPACITY OF REPRODUCTION. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 311-316.
- BOHREN, C., N. DELABAYS, G. MERMILLOD, A. BAKER UND J. VERTENTEN, 2008: *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L.: OPTIMIEREN DES SCHNITTREGIMES. AGRARFORSCHUNG **15**, 308-313.
- BUTTENSCHØN, R., S. WALDISPÜHL UND C. BOHREN, 2010: GUIDELINES FOR MANAGEMENT OF COMMON RAGWEED, *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA*, 47PP, ISBN:9788779034549 [HTTP://WWW.EUPHRESCO.ORG](http://www.euphresco.org).
- GEHRING, K., 2011: WIRD AMBROSIA ZUM PROBLEMKRAUT? TOP AGRAR **5/2011**, 64-69.
- HOLST, N. (HRSG.), 2010: STRATEGIES FOR AMBROSIA, SCIENTIFIC REPORT OF THE EUPHRESCO PROJECT AMBROSIA 2006-2009, 70PP, [HTTP://XWWW.AGRSCI.DK/AMBROSIA/OUTPUTS/REPORT.HTML](http://xwww.agrsci.dk/ambrosia/outputs/report.html).
- SCHRÖDER, G. UND E. MEINLSCHMIDT, 2009: UNTERSUCHUNGEN ZUR BEKÄMPFUNG VON BEIFUßBLÄTTRIGER AMBROSIE (*AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L.) MIT HERBIZIDEN WIRKSTOFFEN. GESUNDE PFLANZEN **61**, 135–150.
- SÖLTER U., U. STARFINGER UND A. VERSCHWELE, 2012: HALT AMBROSIA - COMPLEX RESEARCH ON THE INVASIVE ALIEN PLANT RAGWEED (*AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L.) IN EUROPE. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **434**, 627-629.
- STARFINGER, U., 2008: ZUM STAND DES AKTIONSPROGRAMMS AMBROSIA. NACHRICHTENBLATT DEUTSCHER PFLANZENSCHUTZDIENST **60**, 201-204.
- WASSMUTH, B. UND A. VERSCHWELE, 2009: HERBIZIDWIRKUNG VON MESOTRIONE, THIFENSULFURON, MECOPROP-P UND PELARGONSÄURE AUF *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* BEI FRÜHER UND SPÄTER APPLIKATION, JULIUS-KÜHN-ARCHIV **424**, 2009, 42-45.

Regionale Versuche zur chemischen Bekämpfung von Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea*)

*Regional trials for the chemical control of common ragwort (*Senecio jacobaea*)*

Bernhard Werner

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Hannover, Wunstorfer Landstraße 11, D-30453 Hannover
bernhard.werner@lwk-niedersachsen.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.079

Zusammenfassung

Das Jakobs-Kreuzkraut entwickelt sich auch in Norddeutschland aufgrund seiner zunehmenden Verbreitung und seiner Warmblütertoxizität zu einem Problemunkraut im extensiven Grünland und auf Ruderalflächen. Möglichkeiten der chemischen Bekämpfung wurden in den Jahren 2009 bis 2011 in sieben Feldversuchen in der Region Hannover auf leichten Standorten geprüft. Getestet wurde die Wirksamkeit verschiedener Grünlandherbizide zu unterschiedlichen Anwendungsterminen (Frühjahr, Frühsommer und Herbst). Die Wirksamkeit variierte zwischen den Herbiziden stark und war zusätzlich vom Einsatzzeitpunkt und dem Entwicklungsstadium der Zielpflanze abhängig. Von den auf dem Grünland in Deutschland zugelassenen Herbiziden erreichte bei voller Aufwandmenge nur Simplex (Fluroxypyr + Aminopyralid) zu allen Behandlungsterminen Wirkungsgrade über 90 %. Gleichzeitig verfügt Simplex über die höchste Wirkungsgeschwindigkeit. Teilwirkungen wurden mit Banvel M (MCPA + Dicamba), U 46 M-Fluid (MCPA) + U 46 D-Fluid (2,4-D) und Garlon 4 (Triclopyr) erzielt. Diese drei Mittel erzielten im Frühjahrseinsatz tendenziell höhere Wirkungsgrade als im Frühsommer. Bei den Herbstapplikationen waren die Bekämpfungserfolge wuchsstoffhaltiger Präparate unterschiedlich. Bei der Prüfung nicht in Deutschland zugelassener Herbizide erreichte Legolas (2,4-D + 2,4-Dichlorprop-P + Dicamba) die höchsten Bekämpfungserfolge.

Stichwörter: Anwendungstermin, Grünland, Herbizid, Norddeutschland, Unkraut, Wirksamkeit

Summary

In Northern Germany, common ragwort (*Senecio jacobaea*) is developing into a serious pest weed due to its increasing abundance on grassland and its toxicity for livestock. Between 2009 and 2011, the potential of chemical control of common ragwort was tested in seven field trials on light soils in the region of Hannover. The effectiveness of several herbicides for pastures had been tested at different times of the year (spring, early summer and autumn). The applied herbicides differed in their efficacy in dependence of the time of application and thus stage of development of the weed. Of those herbicides registered in Germany, only Simplex (Fluroxypyr + Aminopyralid) reached an efficacy of over 90 % using the maximum dose at the times of treatment. Additionally, Simplex showed the highest speed of action in comparison to other herbicides. Partial effects were observed after application of Banvel M (MCPA + Dicamba), U 46 M-Fluid (MCPA) + U 46 D-Fluid (2,4-D) or Garlon 4 (Triclopyr). These three herbicides were slightly more effective when applied in spring compared to application in early summer. Autumn application showed variable results of tested herbicides. Of those herbicides which are not registered in Germany, Legolas (2,4-D + 2,4-Dichlorprop-P + Dicamba) showed best results in controlling common ragwort.

Keywords: Chemical weed control, effectiveness, grassland, Northern Germany, time of treatment

1. Einleitung

Das Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea*) ist ein international verbreitetes Problemunkraut (SUTER et al., 2007) auf Grünlandstandorten. Diese in Europa heimische Pflanzenart hat sich in den letzten Jahren auch in Norddeutschland stark verbreitet. Aufgrund seiner Alkaloidgehalte verfügt es über eine hohe Warmblütertoxizität (WOLF, 2008). Besonders gefährdete Weidetiere sind unter anderem Pferde und Rinder, aber auch Schafe und Ziegen (GOEGNER et al., 1982). Infolgedessen ist die Anzahl der Anfragen zu Möglichkeiten der Bekämpfung des Jakobs-Kreuzkrautes bei der Officialberatung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen erheblich gestiegen. Auch AUGUSTIN et al. (2010) sehen zu diesem Thema einen Beratungsbedarf in der Praxis. Gleichzeitig wird die Problematik des Auftretens von Jakobs-Kreuzkraut und anderer Kreuzkrautarten in der Öffentlichkeit intensiv diskutiert und an Lösungsansätzen gearbeitet (NORDMEYER und SÖCHTING, 2009).

Da mechanische (SIEGRIST-MAAG et al., 2008) und biologische Verfahren eher einen geringen Bekämpfungserfolg versprechen, liegt der Focus der Bekämpfung bei landwirtschaftlich genutzten Flächen in konventionell wirtschaftenden Betrieben auf chemischen Verfahren. Vor diesem Hintergrund wurden in der Region Hannover im Zeitraum von 2009 bis 2011 insgesamt sieben Freilandversuche zur chemischen Bekämpfung des Jakobs-Kreuzkrautes durchgeführt. Auf der Basis der Versuchsergebnisse sollten praxisrelevante Beratungsempfehlungen erarbeitet werden. Kernfragen waren dafür der Vergleich der Wirkungsgrade und der Wirkungsgeschwindigkeit von Grünlandherbiziden in Feldversuchen sowie die Wahl des optimalen Anwendungstermins.

2. Material und Methoden

In den Jahren 2009 bis 2011 wurden in der Region Hannover auf vier verschiedenen Standorten (Tab. 1) insgesamt sieben Versuche zur Wirksamkeit von Grünlandherbiziden gegenüber dem Jakobs-Kreuzkraut angelegt. Die Versuchsflächen waren in der Regel leichte Standorte, die bisher als Ausgleichsfläche bzw. Brachland (Sehnde) oder als extensives Grünland (Dolgen, Mecklenhorst 1 und 2) genutzt wurden. Die Versuchsanlage erfolgte jeweils als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen. Die Parzellengröße betrug 25 – 30 m². Die Herbizidbehandlungen erfolgten zu drei verschiedenen Terminen: Frühjahr/Rosettenstadium (Nr. 629 und 639), Frühsommer/Streckungswachstum (Nr. 608 und 609) und Herbst/Rosettenstadium (Nr. 618, 619 und 638). Lediglich im Versuch 639 wurde im Frühjahr zu zwei Terminen behandelt, beide Behandlungstermine wurden als Frühjahrstermine gewertet. Die Unkrautdeckungsgrade wurden geschätzt und die Anzahl Pflanzen/m² mit Hilfe eines Zählrahmens (5 x 0,1 m² pro Parzelle) erfasst. Die Abschlussbonitur erfolgte in den Frühjahrsbehandlungen im Herbst des gleichen Jahres, in den anderen Behandlungsterminen i.d.R. im Frühjahr des darauffolgenden Jahres. In der Datenauswertung wurden in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren die Mittelwerte einzelner Versuchsglieder berechnet und als Säulendiagramme mit Spannweitenlinien graphisch dargestellt.

Tab. 1 Übersicht der Versuchsstandorte.

Tab. 1 Overview of the sites for the trials.

Versuchs- Nummer	Ort	Bearbeitung vor Applikation	SENJA Pfl./m ²	SENJA BBCH	Applikations- termin
608	Sehnde	keine	3	39	29.05.2009
609	Dolgen	keine	2	51	04.06.2009
618	Sehnde	1 x Mulchen	6	29	18.09.2009
619	Mecklenhorst 1	1 x Mähen	14	29	16.09.2009
629	Mecklenhorst 1	keine	23	30	26.05.2010
638	Mecklenhorst 2	1 x Mähen	13	29	23.09.2010
639	Mecklenhorst 2	keine	45	29	19.04.2011
639	Mecklenhorst 2	keine	45	30	06.05.2011

Zum Einsatz kamen die in Tabelle 2 aufgeführten Herbizide. Banvel M, Simplex und Garlon 4 wurden mit der vollen in Deutschland zugelassenen Aufwandmenge appliziert, U 46 M-Fluid und U 46 D-Fluid in Mischung ebenfalls mit der maximal zugelassenen Aufwandmenge sowie Starane Ranger (Fluroxypyr + Triclopyr) mit 2 l/ha in Mischung mit 1,5 l/ha Garlon 4. Die Mittel Lupo (MCPA + 2,4-D) mit 4 l/ha und Legolas mit 2 l/ha und 3 l/ha wurden in zwei Frühjahrs- und zwei Herbstanwendungen geprüft.

Tab. 2 Übersicht der eingesetzten Herbizide mit Wirkstoffkonzentrationen.

Tab. 2 *Herbicides used and their active compounds.*

Handelsbezeichnung	1. Wirkstoff (g/l)	2. Wirkstoff (g/l)	3. Wirkstoff (g/l)
U 46 M-Fluid	MCPA (500)		
U 46 D-Fluid	2,4-D (500)		
Banvel M	Dicamba (30)	MCPA (340)	
Simplex	Fluroxypyr (100)	Aminopyralid (30)	
Garlon 4	Triclopyr (480)		
Starane Ranger	Fluroxypyr (100)	Triclopyr (100)	
Lupo*	2,4-D (345)	MCPA (345)	
Legolas*	2,4-D (300)	2,4-Dicloprop-P (400)	Dicamba (120)

* zurzeit nicht in Deutschland zugelassen

3. Ergebnisse

Kernfragen der vorliegenden Untersuchungen waren der Wirkungsvergleich zugelassener Grünlandherbizide gegenüber dem Jakobs-Kreuzkraut unter dem Aspekt der Optimierung von Anwendungstermin und Aufwandmenge sowie die Suche nach möglichen Alternativen zu den in Deutschland etablierten Grünlandherbiziden.

Abbildung 1 zeigt einen Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Herbizide über alle Standorte und alle Behandlungstermine im Betrachtungszeitraum. Dargestellt werden zwei Boniturtermine, aus denen zusätzlich die Wirkungsgeschwindigkeit der einzelnen Herbizide sichtbar wird. Simplex mit dem Wirkstoff Aminopyralid erreichte über alle Standorte und Behandlungstermine mit der zugelassenen Aufwandmenge von 2 l/ha mit 99 % die höchsten Wirkungsgrade mit einer sehr geringen Schwankungsbreite. Auch eine Reduktion der Aufwandmenge um 25 % erbrachte keinen Wirkungsabfall. Die Wirkungsgeschwindigkeit war bei Simplex im Vergleich zu den anderen geprüften Mitteln am höchsten. Alle anderen Mittel und Mittelkombinationen zeigten eine deutlich langsamere Wirkung und eine sehr große Schwankungsbreite. Die Mischung aus U 46 M + U 46 D (je 2 l/ha) erwies sich in diesem Vergleich noch als sicherste Alternative.

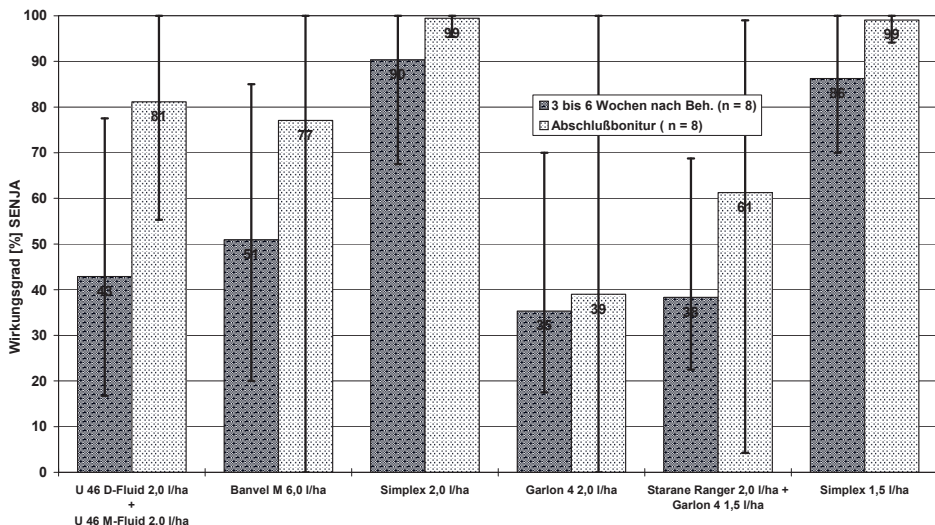


Abb. 1 Vergleich der Wirksamkeit von Herbiziden über alle Standorte.

Fig. 1 *Comparison of the efficacy of herbicides over all sites.*

Ursache für den starken Wirkungsabfall aller wachststoffhaltigen Präparate ist die Abhängigkeit vom Behandlungstermin bzw. dem Entwicklungsstadium des Jakobs-Kreuzkrautes zum Behandlungs-termin. In beiden als Fröhsommeranwendung definierten Versuchen befand sich *Senecio jacobaea* im fortgeschrittenen Streckungswachstum. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen den Einfluss des Anwen-dungstermins bzw. des Entwicklungsstadiums von *Senecio jacobaea* zum Behandlungszeitpunkt auf die Wirksamkeit der Herbizide sehr deutlich. Bis auf Simplex fällt bei allen Mitteln und Mittelkombinationen die Wirksamkeit bei der Fröhsommeranwendung in den schossenden Bestand deutlich ab. Lediglich die Kombination aus U 46 M + U 46 D erreicht wiederum mittlere Wirkungsgrade von 63 %.

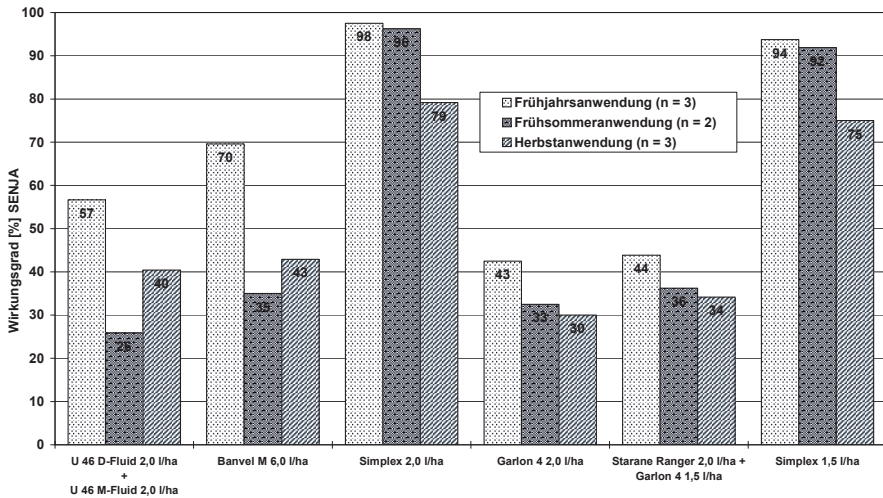


Abb. 2 Einfluss des Anwendungstermins auf die Wirksamkeit der Herbizide (3 bis 6 Wochen nach Behandlung).

Fig. 2 Effect of spraying date on the efficacy of herbicides (3 to 6 weeks after application).

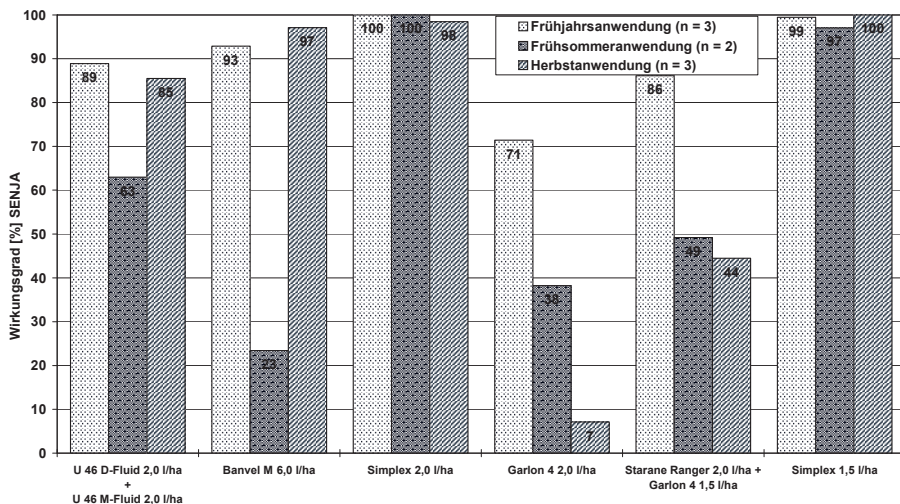


Abb. 3 Einfluss des Anwendungstermins auf die Wirksamkeit der Herbizide (Abschlussbonitur).

Fig. 3 Effect of spraying date on the efficiency of herbicides (last weed count).

Eine Optimierung des Einsatzes der Wuchsstoffherbizide wurde durch eine Applikation im Rosettenstadium von *Senecio jacobaea* erreicht. Dieses war durch ein vorheriges Abräumen des Aufwuchses nach Mahd oder durch vorheriges einmaliges Mulchen bei den Frühjahrs- und Herbstanwendungen möglich. Sowohl die Anwendung von U 46 M + U 46 D mit je 2 l/ha als auch die Anwendung von Banvel M mit 6 l/ha erbrachten unter diesen Einsatzbedingungen höhere Wirkungsgrade von über 80 % bzw. bei Banvel M von über 90 %. Bei der Bewertung der Herbstanwendungen ist zu berücksichtigen, dass in beiden Jahren den Behandlungen ein früher und strenger Winter folgte, so dass eine leichtere Auswinterung herbizidgeschädigter Pflanzen denkbar ist. Simplex zeigte unabhängig vom Anwendungszeitpunkt und unabhängig von der Aufwandmenge Wirkungsgrade zwischen 97 % und 100 %.

In Ergänzung zu den in Deutschland zugelassenen Grünlandherbiziden wurden in je zwei Frühjahrs- und zwei Herbstanwendungen die Mittel mit den Handelsnahmen Lupo und Legolas geprüft (Abb. 4). Lupo ist eine Mischung aus MCPA und 2,4-D. Bei einer Aufwandmenge von 4 l/ha werden von beiden Wirkstoffen je 1380 g/ha ausgebracht, dieses entspricht 38 % mehr Wirkstoff als bei der geprüften Mischung von je 2 l/ha U 46 M + U 46 D. Tendenziell wurden mit Lupo etwas höhere Wirkungsgrade mit einer etwas geringeren Schwankungsbreite als mit U46 M + U 46 D erzielt. Legolas, eine Kombination der drei Wirkstoffe 2,4-D + 2,4-Dichlorprop-P + Dicamba wurde mit den Aufwandmengen 2 l/ha und 3 l/ha geprüft. Die geringere Aufwandmenge von 2 l/ha zeigte einen deutlichen Wirkungsabfall gegenüber 3 l/ha. Mit 3 l/ha erzielte Legolas in diesem Vergleich mit durchschnittlich 97 % den höchsten Wirkungsgrad, vergleichbar mit der Wirksamkeit von 6 l/ha Banvel M (durchschnittlich 96 %). Beide Mittel können unter den beschriebenen optimierten Anwendungsbedingungen eine Alternative zu einer Simplexanwendung sein. Unter suboptimalen Anwendungsbedingungen (Frühsommeranwendung) wurde Legolas in dieser Versuchsreihe nicht geprüft. Unabhängig von den Anwendungsbedingungen zeigte Simplex in allen Versuchen die größte Wirkungsgeschwindigkeit und die größte Wirkungssicherheit.

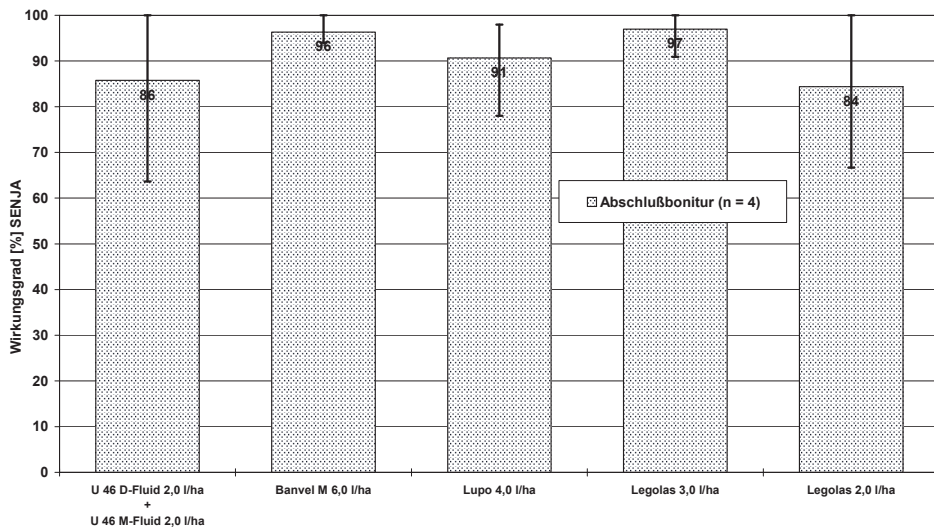


Abb. 4 Vergleich der Wirksamkeit wuchsstoffhaltiger Herbizide.

Fig. 4 Efficacy of different herbicides.

4. Diskussion

Das Jakobs-Kreuzkraut ist eine Unkrautart mit weiterhin zunehmender Bedeutung im Grünland. In Großbritannien, Neuseeland und Zentraleuropa (SUTER et al., 2007) wird es schon lange Zeit als Problemunkraut angesehen. Veröffentlichungen aus der Schweiz (BOSSHARD et al., 2003; SUTER und

LÜSCHER, 2011) zeigen, dass es dort neben anderen Kreuzkrautarten eine große Bedeutung hat. Diese in Europa heimische Art findet auch in Deutschland eine zunehmende Verbreitung (AUGUSTIN, 2009; BERENDONK et al., 2009; SCHLEICH-SAIDFAR, 2008b). Die Ursachen sind vielfältig. Als konkurrenzschwache Unkrautart hat es sein größtes Verbreitungspotential auf Ruderalflächen, an Böschungen und Straßenrändern sowie auf extensivem oder ungepflügtem Grünland.

Problematisch ist das Jakobs-Kreuzkraut wegen seiner hohen Giftigkeit gegenüber Warmblütern bei einem gleichzeitig hohen Vermehrungspotential (AUGUSTIN et al., 2010). Die einzelnen Pflanzenteile des Jakobs-Kreuzkrautes weisen unterschiedlich hohe Alkaloidgehalte auf. Wichtig ist, dass die grünen Pflanzen auch Bitterstoffe enthalten und daher von den Tieren eher verschmäht werden. Problematisch ist das Verfüttern von belastetem Raufutter und Silage, da z.B. im Heu die Bitterstoffe verloren gehen, die Giftigkeit aber bleibt. In Silagen verliert das Jakobs-Kreuzkraut seine Giftigkeit nur zu einem geringen Prozentsatz (BERENDONK und HÜNTING, 2011). Aus diesem Grund ist eine sichere Bekämpfung des Jakobs-Kreuzkrautes auf Wiesen oder Weiden besonders wichtig.

Vorbeugende Maßnahmen sind für alle bewirtschafteten Standorte die wichtigsten und auch praktikabelsten Maßnahmen, da nicht auf allen Standorten Herbizide eingesetzt werden können. SIEGRIST-MAAG et al. (2005) zeigten, wie wichtig es ist, die Grasnarbe geschlossen zu halten, Trittschäden und andere mechanische Belastungen zu vermeiden sowie die Flächen nicht zu überweiden. Die Möglichkeit des Ausstechens beschränkt sich auf einen geringen Pflanzenbesatz und das Mähen oder Mulchen führt nicht zwingend zum Erfolg (SIEGRIST-MAAG et al., 2008), da die Pflanzen aus der Blattrosette oder unter dem Schnittpunkt des Stängels erneut austreiben können. Diese Einschätzung bestätigen Versuche von EISELE et al. (2011), in denen ebenfalls der Einfluss verschiedener Schnittzeitpunkte auf die weitere Entwicklung von Jakobs-Kreuzkraut geprüft wurde. Der Bekämpfungserfolg war gering. Teilweise bildeten die Pflanzen nach einmaligem Schnitt neue Stängel oder es entwickelten sich um die alte Pflanze herum neue Rosetten. Praktikable biologische Bekämpfungsverfahren stehen zurzeit nicht zur Verfügung.

Der Einsatz von Herbiziden ist in konventionell wirtschaftenden Betrieben die sicherste Möglichkeit, das Jakobs-Kreuzkraut zu bekämpfen. Mit 95 bis 100 % Wirkungsgrad zu allen Bekämpfungsterminen erzielte in den vorliegenden Versuchen Simplex mit 100 % und 75 % der zugelassenen Aufwandmenge die höchste Wirksamkeit und die größte Wirkungsgeschwindigkeit. Problematisch ist am Simplex die geringe Abbaurate des Wirkstoffes Aminopyralid unter anaeroben Bedingungen (NORDMEYER, 2010). Neben Nachbauproblematiken auf der Behandlungsfläche kann es zum Wirkstofftransfer über Grünfütter, Silage oder Raufütter mit dem daraus entstehenden Mist oder der Gülle kommen. Der Hersteller hat daher schon eigene Anwendungsbeschränkungen auferlegt, wie z.B. keine Anwendung auf Pferdeweide oder Anwendung nur nach dem letzten Schnitt.

Alternative Wirkstoffe bzw. Mittel und die Optimierung ihrer Anwendungsbedingungen standen daher im Mittelpunkt der Untersuchungen. Keines der anderen geprüften Präparate erreichte die Wirkungssicherheit von Simplex. Das wuchsstoffhaltige Mittel Banvel M bzw. die wuchsstoffhaltigen Mittelkombinationen U 46 M-Fluid plus U 46 D-Fluid zeigten sowohl im Frühjahrseinsatz als auch im Herbsteinsatz gute Wirkungsgrade. Einen ähnlich guten Bekämpfungserfolg erzielte SCHLEICH-SAIDFAR (2008a) in Schleswig-Holstein mit den gleichen Wuchsstoffen im Frühjahrseinsatz. Bedingung für eine gute Wirkung ist eine Applikation im Rosettenstadium bevor das Jakobs-Kreuzkraut in das Streckungswachstum übergeht. Es ist nicht auszuschließen, dass bei den gezeigten Herbstanwendungen die jeweils starken Winter mit langer Schneeeauflage (2009/2010) oder mit Dauerfrost ab Mitte November (2010/2011) ein Absterben herbizidgeschädigter Pflanzen begünstigten. Eine gute Bekämpfungsleistung gegenüber *Senecio jacobaea* erbrachte auch das nicht in Deutschland zugelassene Herbizid Legolas. Bei einer Optimierung von Einsatzzeitpunkt und Aufwandmenge sind Wirkungsgrade von über 90 % sicher erreichbar.

Literatur

AUGUSTIN, B., 2009: GEFÄHRLICHE EXOTEN. DLG-MITTEILUNGEN **3**, 72-74.

- AUGUSTIN, B., E. HIETEL UND B. LEITSCHUH, 2010: AUSBREITUNGSMÖGLICHKEITEN MEHRJÄHRIGER KREUZKRAUTARTEN. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 481-482.
- BERENDONK, C., K. HÜNTING, A. JANSSEN UND J. CLEMENS, 2009: BEEINFLUSSUNG DER KEIMFÄHIGKEIT VON *SENECIO JACOBAEA* DURCH DEN PROZESS DER SILIERUNG UND BIOGASVERGÄHRUNG. MITTEILUNGEN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT GRÜNLAND UND FUTTERBAU **10**, 210-213.
- BERENDONK, C. UND K. HÜNTING, 2011: EINFLUSS DER SILIERUNG AUF DEN GEHALT AN PYRROLIZIDINALKALOIDEN VON *SENECIO JACOBAEA* IN ABHÄNGIGKEIT VOM *SENECIO*-GEHALT IM SILIERGUT. MITTEILUNGEN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT GRÜNLAND UND FUTTERBAU **12**, 159-162.
- BOSSHARD, A., J. JOSHI, A. LÜSCHER UND U. SCHAFFNER, 2003: JAKOBS- UND ANDERE KREUZKRAUT-ARTEN: EINE STANDORTBESTIMMUNG. AGRARFORSCHUNG **10**, 231-235.
- EISELE, N., C. PEKRUN, B. TONN UND M. ELSÄSSER, 2011: JAKOBSKREUZKRAUT NICHT BLÜHEN LASSEN. LZ-RHEINLAND **29**, 18-20.
- GOEGNER, D. E., P. R. CHEEKE, J. A. SCHMITZ UND D. R. BUHLER, 1982: TOXICITY OF TANSY RAGWORT (*SENECIO JACOBAEA*) TO GOATS. AMERICAN JOURNAL OF VETERINARY RESEARCH **43**, 252-254.
- NORDMEYER, H. UND H.-P. SÖCHTING, 2009: FACHGESPRÄCH JAKOBS-KREUZKRAUT (*SENECIO JACOBAEA*). JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN **428**, 482-483.
- NORDMEYER, H., 2010: AUSWIRKUNGEN VON AMINOPYRALID IN RINDERMIST AUF VERSCHIEDENE KULTURPFLANZEN. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **61**, 385-386.
- SCHLEICH-SAIDFAR, C., 2008A: UNKRAUTBEKÄMPFUNG IM GRÜNLAND 2008 – NEUE ERFAHRUNGEN. LANDPOST, 22. MÄRZ, 28-31.
- SCHLEICH-SAIDFAR, C., 2008B: JAKOBSKREUZKRAUT: GEFÄHRLICH FÜR WEIDETIERE – NÜTZLICH FÜR INSEKTEN. LANDPOST, 27. SEPTEMBER, 28-31.
- SIEGRIST-MAAG, S., M. SUTER UND A. LÜSCHER, 2005: BEWIRTSCHAFTUNG UND JAKOBS-KREUZKRAUT- EIN ZUSAMMENHANG? AGRARFORSCHUNG **12**, 398-403.
- SIEGRIST-MAAG, S., A. LÜSCHER UND M. SUTER, 2008: REAKTION VON JAKOBS-KREUZKRAUT AUF SCHNITT. AGRARFORSCHUNG **15**, 338-343.
- SUTER, M., S. SIEGRIST-MAAG, J. CONNOLLY UND A. LÜSCHER, 2007: CAN THE OCCURRENCE OF *SENECIO JACOBAEA* BE INFLUENCED BY MANAGEMENT PRACTICE? WEED RESEARCH **47**, 262-269.
- SUTER, M. UND A. LÜSCHER, 2011: MEASURES FOR THE CONTROL OF *SENECIO AQUATICUS* IN MANAGED GRASSLAND. WEED RESEARCH **51**, 601-611.
- WOLF, P., 2008: DIE „GELBE GEFAHR“ LAUERT AM STRAßENRAND. LAND & FORST **32**, 16.

Aktionsprogramm Ambrosia in Deutschland - Status Quo und Ausblick

The Action Programme Ambrosia in Germany – State of the art and future prospects

Uwe Starfinger

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig
uwe.starfinger@jki.bund.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.080

Zusammenfassung

Die Beifußblättrige Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) ist ein Neophyt aus Nordamerika, der sich in verschiedenen europäischen Ländern ausgebreitet hat und sich in den letzten Jahren auch in Deutschland verstärkt ausbreitet. Wegen der negativen Auswirkungen auf die Landwirtschaft und die menschliche Gesundheit gilt die Art als unerwünscht. Eine vom Julius Kühn-Institut koordinierte interdisziplinäre Arbeitsgruppe hat 2007 ein Aktionsprogramm Ambrosia begründet, mit dem die Ausbreitung eingeschränkt werden soll. Im Rahmen des Aktionsprogramms wurden Daten zum Vorkommen der Art zusammengestellt, Bestände bekämpft und die Öffentlichkeit über die Gefahren informiert. Die Beifußblättrige Ambrosie ist in Deutschland lückig verbreitet und kommt überwiegend im Süden und in Brandenburg vor. Eine realistische Chance zur Zurückdrängung der Art scheint zu bestehen. Die bisherigen Anstrengungen dazu reichen aber noch nicht aus. Eine Intensivierung der Bemühungen und ein einheitliches Vorgehen in allen Bundesländern ist dafür nötig.

Stichwörter: *Ambrosia artemisiifolia*, gebietsfremde Art, Pollenallergie, ragweed, Traubenkraut, Unkraut

Summary

Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) originally from North America occurs as an alien species in several European countries. In Germany it has spread only recently. Because of its negative impact on agriculture and human health, further spread is undesired. At the Julius Kühn-Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants an "Interdisciplinary working group Ambrosia" has launched an Action Programme Ambrosia early in 2007 in order to prevent further spread of this alien plant. First results are presented: Monitoring in several Federal States of Germany has shown that most stands of this plant are small. Larger stands are mostly found in Southern Germany and in Brandenburg. Management and control have taken place and led to the destruction of many ragweed plants. In order to successfully halt the spread of the species, however, the action programme has to become more efficient and has to be followed in all Federal States.

Keywords: Alien species, *Ambrosia artemisiifolia*, pollen allergy, ragweed, weed

1. Einleitung

Die Beifußblättrige Ambrosie (*A. artemisiifolia*) ist eine windbestäubte einjährige Pflanze aus der Familie der Asteraceae. Ihr ursprüngliches Areal liegt in Nordamerika. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts ist sie mit verunreinigtem Saatgut nach Europa, Ostasien und Australien eingeschleppt worden. In einigen europäischen Ländern hat sie sich im 20. Jahrhundert stark ausgebreitet, z.B. in Ungarn, Nord-Italien und Frankreich. Erst in den letzten Jahren wird eine zunehmende Ausbreitung auch in Deutschland beobachtet. Diese Ausbreitung gilt aus verschiedenen Gründen als unerwünscht (ALBERTERNST et al., 2008; STARFINGER, 2008).

Der in großen Mengen produzierte Pollen ist stark Allergie auslösend. Beschwerden werden durch geringere Pollenkonzentrationen als bei anderen Pflanzen ausgelöst. Ambrosia-Pollenallergien nehmen häufiger als andere einen schweren Verlauf mit asthmatischen Beschwerden. Wegen der späten Blüte treten diese Beschwerden im Spätsommer bis Herbst auf, einer Jahreszeit, die sonst frei von allergieauslösenden Pollen ist. Diese gesundheitlichen Auswirkungen erzeugen in Ländern, in denen die Art bereits weit verbreitet ist, große Kosten. Für Österreich werden die Gesundheitskosten durch Ambrosia auf 89 Mio. Euro beziffert (LEBENS MINISTERIUM, 2011).

Die Art kann als Ackerunkraut hohe Ernteaussfälle hervorrufen (SZIGETVARI und BENKÖ, 2008). In Ungarn wurde der landwirtschaftliche Schaden durch die Art auf 100 Mio. Euro jährlich geschätzt (KAZINCZI et al., 2008).

2. Das Aktionsprogramm

Die Ausbreitung von *A. artemisiifolia* war in Deutschland im Jahr 2005 Anlass, an der damaligen Biologischen Bundesanstalt für Land- Forstwirtschaft in Braunschweig einen interdisziplinären Workshop zu veranstalten, auf dem die Ausbreitung der Pflanze und ihre Folgen von Medizinerinnen, Pollenfachleuten, Botanikern, Naturschützern und Vertretern der Pflanzenschutzdienste diskutiert wurden (SCHRADER et al., 2007). Seitdem trifft sich die „Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Ambrosia“ jährlich, um neue Informationen über die Ausbreitung und die Bekämpfung auszutauschen und weitere Aktivitäten zu diskutieren. Über die Ergebnisse wird regelmäßig im Internet (www.jki.bund.de/ambrosia.html) und anders berichtet (STARFINGER, 2011).

Beim 2. Treffen wurde die Notwendigkeit festgestellt, die weitere Ausbreitung der Art einzudämmen. Dazu wurde das „Aktionsprogramm Ambrosia“ beschlossen, das folgende Ziele hat:

- eine bessere Kenntnis der tatsächlichen Verbreitung der Art in Deutschland,
- die Verhinderung weiterer Ein- und Verschleppung von Samen von *A. artemisiifolia* und die Bekämpfung existierender Pflanzen bzw. Bestände sowie
- die Information von Verwaltung, Politik und Öffentlichkeit über die Problematik und über mögliche Gegenmaßnahmen.

Das Aktionsprogramm Ambrosia ist ein wesentlicher Handlungsschwerpunkt des Aktionsplanes Allergien des BMELV (www.aktionsplan-allergien.de). Das Julius Kühn-Institut in Braunschweig (JKI) koordiniert das Aktionsprogramm in Zusammenarbeit mit den Ländern und Kommunen.

3. Status Quo

Durch verschiedene Aktivitäten haben die Kenntnisse über die Art, über ihre Verbreitung und über Gegensteuerungsmöglichkeiten zugenommen. Dazu wurden in mehreren Bundesländern Fundortsammlungen angelegt und an das JKI weitergeleitet. In Bayern werden seit 2008 Funde von mehr als 100 Pflanzen über Meldestellen in den Kreisverwaltungsbehörden an eine Sammelstelle in der Landesanstalt für Landwirtschaft weitergegeben. Zusätzlich werden Aufträge zur Kartierung von Bundesstraßen und Autobahnen an Botaniker vergeben. Dadurch sind bis Ende 2010 in Bayern 189 Bestände mit mehr als 100 Pflanzen bekannt geworden (NAWRATH und ALBERTERNST, 2011). In Berlin und Brandenburg wurde die Bevölkerung durch Pressearbeit aufgerufen, Ambrosiafunde zu melden. Dazu werden verschiedene Möglichkeiten angeboten: Neben der Meldung durch Einsenden von Meldeformularen ist der direkte Eintrag von Funden in den „Berliner Ambrosia-Atlas“ im Internet möglich. Dieser wird auch von Brandenburg genutzt. In Brandenburg wurde 2011 die „Ambrosia-App“ für Smartphones eingeführt, mit der Funde mit einem Smartphone in den Atlas eingetragen werden. Dabei werden die technischen Möglichkeiten der Smartphones wie die Übertragung von Geodaten aus dem GPS-Empfänger und die Einsendung von mit dem Smartphone gemachten Fotos zur Überprüfung der Artbestimmung direkt genutzt. Zusätzlich werden in Berlin und Brandenburg MAE-Kräfte, sog. Ambrosia-Scouts eingesetzt, die Ambrosia erfassen und gemeldete Bestände überprüfen. In Berlin ist damit der Grad der Erfassung relativ hoch. Im Zuge der Aktivitäten zeigte sich, dass hier auch die mehrjährige *A. coronopifolia* in großen Beständen vorkommt. Es sind 2010 und 2011 jeweils über 1000 Bestände bekannt geworden, darunter waren in 2010 126 Bestände (63 davon *A. artemisiifolia*) und in 2011 57 Bestände (davon 20 *A. artemisiifolia*) mit über 100 Pflanzen (DÜMMELE, 2010; BERLIN-BRANDENBURGER AMBROSIA-ATLAS, 2011).

Die Erfassung von Funden ist in den Bundesländern unterschiedlich organisiert und wird unterschiedlich intensiv betrieben. Insgesamt sind die meisten Bestände in Deutschland klein, größere etablierte Vorkommen gibt es vor allem in Süddeutschland und in Südost-Brandenburg.

In regional unterschiedlichem Ausmaß werden Bestände bekämpft und damit ihre weitere Ausbreitung verhindert oder reduziert. Dabei zeigt sich, dass der Bekämpfungserfolg weniger von der Wahl der Methode abhängt als von der konsequenten Durchführung. Da in den meisten Bundesländern *A. artemisiifolia* an Straßenrändern, in privatem und öffentlichem Grün und auf Ruderalflächen vorkommt, wurden in den meisten Fällen mechanische Bekämpfung wie Ausreißen und Mahd angewendet. So sind z.B. in intensiv bearbeiteten Gebieten in Baden-Württemberg wie Freiburg, Rastatt oder Karlsruhe die Bestände von *A. artemisiifolia* deutlich zurückgegangen (mdl. Mitt. GEBHARDT, 2010, 2011). Detaillierte Untersuchungen in Bayern zeigten, dass die Bekämpfung in einem Drittel der Fälle zu einem Rückgang der Populationsgröße im Folgejahr um mehr als 90 % geführt hat, bei einem weiteren Drittel um mehr als 30 % (NAWRATH und ALBERTERNST, 2011). Auch in anderen Ländern haben Bekämpfungsmaßnahmen zum Rückgang von Beständen geführt. Die Information der Öffentlichkeit hat dazu beigetragen, dass gerade kleine Populationen im Siedlungsbereich häufig entfernt wurden. Insgesamt zeigen die Beispiele, dass eine Bekämpfung von *A. artemisiifolia* zu einer deutlichen Reduzierung der Bestände führt, wenn sie sachgerecht und konsequent ausgeführt wird.

Die in der interdisziplinären Arbeitsgruppe als wesentlicher Einschleppungsweg anerkannte Verunreinigung von Vogelfutter mit Ambrosia-Samen wurde in der Öffentlichkeit stark wahrgenommen. Im Jahr 2011 ist eine EU-Verordnung in Kraft getreten (EU, 2011), die diese Verunreinigung begrenzt und damit dem weiteren Entstehen von Beständen der Ambrosie an Vogelfutterstellen vorbeugt.

Durch Öffentlichkeitsarbeit verschiedener Teilnehmer der interdisziplinären Arbeitsgruppe sind die Kenntnis der Art und das Wissen um ihre Auswirkungen stark gestiegen.

4. Ausblick

Durch Beiträge zu den jährlichen Treffen der interdisziplinären Arbeitsgruppe wurden Handlungsschwerpunkte deutlich. Eine bisher zu wenig beachtete Problematik besteht in der Ausbreitung von *A. artemisiifolia* entlang von Straßen und durch Erdtransporte bei Bauarbeiten. Kürzlich in der Niederlausitz beschriebene Populationen mit veränderter Phänologie geben Anlass zur Sorge, dass die Etablierung auch in klimatisch weniger günstigen Gebieten voranschreiten könnte. Damit verschiebt sich der Fokus der Ein- und Verschleppungsprävention. Während weniger mit Neueinschleppung durch Vogelfutter zu rechnen ist, muss die Ausbreitung vor allem entlang von Straßen stärker beachtet und minimiert werden, z.B. durch weitere Aufklärung der Dienste, die die Straßenrandpflege durchführen.

Berichte aus der Schweiz zeigen, dass die Zurückdrängung von *A. artemisiifolia* im frühen Stadium durchaus erfolgreich sein kann. Dies gelang durch landesweite Organisation und auf der Grundlage von spezialgesetzlichen Regelungen im Pflanzenschutzrecht (POPOW, 2010).

Die Eindämmung von *A. artemisiifolia* und die Reduktion der durch sie ausgelösten Schäden ist auch Ziel von internationalen bzw. europäischen Aktivitäten. Die vor kurzem gegründete "International Ragweed Society" (<http://www.internationalragweedsociety.org>) strebt die Verstärkung internationaler Aktivitäten gegen Ambrosia an, die EU Kommission hat ein Forschungsprojekt in Auftrag gegeben, das die Bekämpfung der Art in ganz Europa zum Ziel hat (SÖLTER et al., 2012). Auch in Nachbarländern wird weiter an Aktionsprogrammen gearbeitet (BOHREN et al., 2010; KARRER, 2010).

Wegen des seit langem bestehenden Interesses an *A. artemisiifolia* sind viele Fragen zur Biologie der Art, zu Ausbreitungswegen und Bekämpfungsmöglichkeiten gut untersucht. Erfolge der Bekämpfung in der Schweiz sowie Teilerfolge in Deutschland und Österreich zeigen, dass der Bekämpfungserfolg nicht durch Wissenslücken gefährdet ist. Dennoch besteht zu einigen Fragen auch in Deutschland noch Forschungsbedarf. Er betrifft u.a. Details der Einführungs- und Ausbreitungsgeschichte in der Niederlausitz, die Veränderung in der Blühphänologie und die damit veränderten Ausbreitungsmöglichkeiten weiter nach Norden sowie Möglichkeiten, den Transport von Samen der Art mit Erdbewegungen bei Bauarbeiten zu verhindern. Auch der Einfluss von *A. artemisiifolia* auf die biologische Vielfalt ist noch nicht im Detail bekannt.

Insgesamt zeigt sich, dass Erfolge in allen Bereichen des Aktionsprogramms möglich sind. Die Aktivitäten müssen jedoch weitergeführt und intensiviert werden um dauerhaft die Ausbreitung der Pflanze in Deutschland zu unterbinden. Anzustreben ist dabei eine bundesweit einheitliche klare Verantwortungszuweisung als Grundlage für eine ausreichende Umsetzung der Gegenmaßnahmen.

Danksagung

Ich danke den freiwilligen Teilnehmern der interdisziplinären Arbeitsgruppe Ambrosia für ihren unermüdlichen Einsatz im Kampf gegen die Ausbreitung der Art.

Literatur

- ALBERTERNST, B., S. NAWRATH, A. HUSSNER UND U. STARFINGER, 2008: AUSWIRKUNGEN INVASIVER ARTEN UND VORSORGE, SOFORTMAßNAHMEN UND MANAGEMENT AM BEISPIEL VIER UNTERSCHIEDLICH WEIT VERBREITETER NEOPHYTEN. NATUR UND LANDSCHAFT **83**, 412-417.
- BAEKER, R., 2011: BRANDENBURGS KAMPF GEGEN AMBROSIA - AMBROSIADETEKTIV PER SMARTPHONE. VORTRAG 7. INTERDISZIPLINÄRE ARBEITSGRUPPE AMBROSIA. 29.11.2011, BRAUNSCHWEIG.
- BERLIN-BRANDENBURGER AMBROSIA-ATLAS 2011: [HTTP://AMBROSIA.MET.FU-BERLIN.DE/AMBROSIA/FUNDE_ ANZEIGEN.PHP](http://ambrosia.met.fu-berlin.de/ambrosia/funde_anzeigen.php).
- BMLV: ([WWW.AKTIONSPLAN-ALLERGIEN.DE](http://www.aktionsplan-allergien.de)).
- BOHREN, C., N. DELABAYS UND S. WALDISPÜHL, 2010: AMBROSIA-KONTROLLE – NICHT NUR IN DER LANDWIRTSCHAFT! AGRARFORSCHUNG SCHWEIZ **1**, 260–265.
- BOHREN, C. 2010: AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA ERFOLGREICH EINGEDÄMMT. HOT SPOT **22**, 18-19.
- EU, 2011: VERORDNUNG (EU) NR. 574/2011 DER KOMMISSION VOM 16. JUNI 2011 ZUR ÄNDERUNG DES ANHANGS I DER RICHTLINIE 2002/32/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES HINSICHTLICH DER HÖCHSTGEHALTE FÜR NITRIT, MELAMIN, AMBROSIA SPP. UND DER VERSCHLEPPUNG BESTIMMTER KOKZIDIOSTATIKA UND HISTOMONOSTATIKA SOWIE ZUR KONSOLIDIERUNG DER ANHÄNGE I UND II DERSELBEN.
- INTERNATIONAL RAGWEED SOCIETY: ([HTTP://WWW.INTERNATIONALRAGWEEDSOCIETY.ORG](http://www.internationalragweedsociety.org)).
- KARRER, G. 2010: 2. ZWISCHENBERICHT ZUM PROJEKT "AUSBREITUNGSBIOLOGIE UND MANAGEMENT EINER EINGEFÜHRTEN UND EXTREM ALLERGENEN PFLANZE, WEGE UND URSACHEN DER AUSBREITUNG VON RAGWEED (AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA)". BBK-PROJEKT NR. 100198_4, 15.12.2010. BBK, 80 S.
- KAZINCZI, G., I. BÉRES, Z. PATHY UND R. NOVÁK, 2008: COMMON RAGWEED (AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA L.): A REVIEW WITH SPECIAL REGARDS TO THE RESULTS IN HUNGARY: II. IMPORTANCE AND HARMFUL EFFECT, ALLERGY, HABITAT, ALLELOPATHY AND BENEFICIAL CHARACTERISTICS. HERBOLGIA **9**, 93-118.
- LEBENSMINISTERIUM 2011: BERLAKOVICH: FORSCHUNGSPROJEKT GEHT ALLERGIEKRAUT RAGWEED AN DEN KRAGEN. PRESSEMITTEILUNG. [HTTP://WWW.LEBENSMINISTERIUM.AT/PRESSE/LAND/BERLAKOVICH-FORSCHUNGSPROJEKT_GEHT_ALLERGIEKRAUT_RAGWEED_AN_DEN_KRAGEN.HTML](http://www.lebensministerium.at/presse/land/berlakovich-forschungsprojekt_geht_allergiekraut_ragweed_an_den_kragen.html).
- NAWRATH S. UND B. ALBERTERNST, 2011: METHODISCHE GRUNDLAGEN FÜR EIN AMBROSIA-MONITORING IN DEUTSCHLAND - ERGEBNISSE AUS 5 JAHREN ERFAHRUNG IN BAYERN. VORTRAG 7. INTERDISZIPLINÄRE ARBEITSGRUPPE AMBROSIA. 29.11.2011, BRAUNSCHWEIG.
- POPOW, G., 2010: AMBROSIA-BEKÄMPFUNG IM KANTON ZÜRICH. VORTRAG 6. INTERDISZIPLINÄRE ARBEITSGRUPPE AMBROSIA. 7.12.2010, BRAUNSCHWEIG. [HTTP://PFLANZENGEUNDHEIT.JKI.BUND.DE/DOKUMENTE/UPLOAD/01126_2010POPOW.PDF](http://pflanzengesundheit.jki.bund.de/dokumente/upload/01126_2010popow.pdf).
- SCHRADER, G., U. STARFINGER UND J.-G. UNGER, 2006: „DIE AMBROSIE – EINE INVASIVE ART?“ EIN WORKSHOP ZU AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA – EINFÜHRUNG. NACHRICHTENBLATT DES DEUTSCHEN PFLANZENSCHUTZDIENSTES **58**, 277-278.
- SÖLTER, U., U. STARFINGER UND A. VERSCHWELE, 2012: HALT AMBROSIA - COMPLEX RESEARCH ON THE INVASIVE ALIEN PLANT RAGWEED (AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA L.) IN EUROPE. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **434**, 627-629.
- STARFINGER, U., 2008: ZUM STAND DES AKTIONSPROGRAMMS AMBROSIA. NACHRICHTENBLATT DES DEUTSCHEN PFLANZENSCHUTZDIENSTES **60**, 201–204.
- STARFINGER, U., 2009: CAN THE GENERAL PUBLIC HELP FIGHT THE INVASION OF AN UNDESIRED PLANT INVADER? THE CASE OF AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA. NEOBIOTA **8**, 217-225.
- STARFINGER, U., 2011: INTERDISZIPLINÄRE ARBEITSGRUPPE AMBROSIA – ERGEBNISSE DES 6. TREFFENS IM JULIUS KÜHN-INSTITUT. BRAUNSCHWEIG. JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN **63**, 190-191.
- SZIGETVÁRI, G. UND Z. BENKŐ, 2008: COMMON RAGWEED (AMBROSIA ELATIO L.). IN: BOTTA-DUKÁT, Z. UND L. BALOGH (EDS.): THE MOST IMPORTANT INVASIVE PLANTS IN HUNGARY. HAS INSTITUTE OF ECOLOGY AND BOTANY, 189-201.

HALT Ambrosia - complex research on the invasive alien plant ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in Europe

*HALT Ambrosia - umfassendes europäisches Forschungsvorhaben zum invasiven Neophyten Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia* L.)*

Ulrike Sölter^{1*}, Uwe Starfinger² & Arnd Verschwele¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany

²Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzengesundheit, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany

*Corresponding author, ulrike.soelter@jki.bund.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.081

Summary

The European Commission, Directorate-General Environment, is funding a new project on *Ambrosia artemisiifolia* L.: Complex research on methods to halt the Ambrosia invasion in Europe – HALT AMBROSIA. The project has started in spring 2011 and is executed by a consortium of German, Hungarian, Austrian, Slovenian, Danish and Swiss researchers. The overall aim of the project is to contribute to the reduction of the prevalence of Ambrosia in European countries in order to reduce the burden on public health, agriculture and biodiversity. This will consist of developing strategy elements for the reduction of *A. artemisiifolia* and its pollen in countries where the species is already established, e.g., Hungary, Slovenia, parts of Austria, and South-eastern Europe and for the prevention of further import and spread in countries not yet heavily infested, such as Germany, the Netherlands and Northern European countries. To this end the gaps in the existing information needed for understanding historical successes and failures of control and eradication activities will be analysed. Results of laboratory and field experiments will cover the germination biology and seed bank behaviour and the proportion of viable and germinable seeds produced by different populations or found in transported commodities, such as bird seed and soils. The impacts of chemical and non-chemical control measures on *A. artemisiifolia* and on adjacent plants will be investigated.

Keywords: Alien plant, biodiversity, control strategies, herbicides, non chemical control, ragweed

Zusammenfassung

Die Europäische Kommission, Generaldirektorat Umwelt, fördert ein neues Projekt zu *Ambrosia artemisiifolia* L.: Complex research on methods to halt the Ambrosia invasion in Europe – HALT AMBROSIA. Das Projekt hat im Frühjahr 2011 begonnen und wird von einem Konsortium aus deutschen, ungarischen, österreichischen, slowenischen, dänischen und schweizer Wissenschaftlern durchgeführt. Das Hauptziel des Projektes ist, das Vorkommen von *A. artemisiifolia* in den europäischen Ländern zu reduzieren, um den Druck auf die Gesundheit der Bevölkerung, die Landwirtschaft und die Biodiversität zu mindern. Dies beinhaltet die Entwicklung von Bekämpfungsstrategien, um die Vorkommen von *A. artemisiifolia* und die Pollenbelastung in Ländern mit etablierten Beständen zu reduzieren (Ungarn, Slowenien, Teile von Österreich und Südost Europa) und die Ausbreitung und den weiteren Import von *A. artemisiifolia* in Ländern mit geringem Besatz zu verhindern (Deutschland, Niederlande und die nordeuropäischen Länder). Zu diesem Zweck werden in Labor- und Feldversuchen die Keimungsbiologie und das Verhalten der Samenbank untersucht, wie z.B. die Lebensfähigkeit von Samen und das Verhältnis von lebensfähigen und keimfähigen Samen von verschiedenen Herkünften. Dazu werden unterschiedliche Populationen oder transportierte Güter, wie Erde und Vogelfutter, beprobt. Zudem wird der Einfluss von chemischen und nicht chemischen Kontrollstrategien auf *A. artemisiifolia* und benachbarte Pflanzen erforscht.

Stichwörter: Biodiversität, gebietsfremde Arten, Herbizide, Kontrollstrategien, nicht chemische Bekämpfung, Unkraut

1. Introduction

Ambrosia artemisiifolia is a tall erect annual of the daisy family (Asteraceae) native to North America. *A. artemisiifolia* has been inadvertently imported to many countries in Europe, Asia and Australia (ALLARD, 1945). In Europe, the first populations of the plant were found in the mid 1800s (BRETAGNOLLE and CHAUVEL, 2009). The species has spread over several regions in Europe, having been introduced

separately to France and Northern Italy and later to South-eastern Europe from the 1900s onward (CSONTOS et al., 2010). Information about the current distribution and densities of its appearance is scattered in national databases and publications (BRETAGNOLLE and CHAUVEL, 2009). This invasive weed has established on arable and non-cultivated land like roadway sides and construction land (STARFINGER, 2009). *A. artemisiifolia* can be a strong competitor to sunflowers, potatoes, pumpkins and legumes and can lead to high yield losses. The male flowers produce large quantities of pollen which are of high allergenic potential. Also an impact on biodiversity cannot be excluded. The burden on public health, agriculture and biodiversity by *A. artemisiifolia* cannot be denied.

The overall aim of the project is to contribute to the reduction of the prevalence of *A. artemisiifolia* in European countries. This will consist of developing strategy elements for the reduction of *A. artemisiifolia* and its pollen in countries where the species is already established, e.g. Hungary, Slovenia, parts of Austria, and South-eastern Europe and for the prevention of further import and spread in countries not yet heavily infested such as Germany, the Netherlands and Northern European countries.

2. Description of the Project

The project involves institutes from Germany, Hungary, Austria, Slovenia, Denmark and Switzerland and will last for three years, starting from February 2011. It is divided into six tasks: 1st: Project management and co-ordination; 2nd: Biological fundamentals; 3rd: Non-chemical and integrated control strategies; 4th: Best use of herbicides; 5th: Impact on non-target species and biodiversity and 6th: Implementation and Guidance.

Besides the coordination and management of the project, the 1st task is to inform the public about the project on its website: www.halt-ambrosia.de. Current results, events and reports are available there. The 2nd task deals with biological fundamentals of *A. artemisiifolia*. Experiments on dormancy, germination and viability of different populations are conducted. The persistence of a population depends upon the quality and quantity of seeds produced, therefore the control and eradication of *A. artemisiifolia* has to focus on this susceptible life cycle stage. Seeds are exposed to a range of environmental conditions like high and low temperatures, humidity and drought and chemical treatments. The fate of seeds in transported commodities and the resulting risk of introducing *A. artemisiifolia* populations into new areas are going to be assessed as well as the fate of seeds of cut plants where they finish their ripening process. This is an important aspect in case of the disposal of cut plant material. Investigations about seeds surviving composting or biogas process are also part of this task. The main target of the 3rd task is to improve and adapt physical methods for control of *A. artemisiifolia*. Non-chemical and integrated control strategies like hot water or flaming and mowing are conducted in small plot experiments as well as in cooperation with farmers who are cultivating highly-infested farmland. As *A. artemisiifolia* reacts very sensitive to competition, different row spacing combined with mechanical control methods will be conducted. Special focus will be set on sub-lethal effects on pollen and seed production and viability of *A. artemisiifolia* seeds. A concept for handling *A. artemisiifolia* seed contaminated soil is going to be developed. The 4th task deals with the best use of herbicides, i. e. optimal dosage and timing of herbicide application. Sustainable solutions for herbicide use in minor crops and in sensitive areas where herbicide use is restricted will be provided. Also the efficacy of bio-herbicides (e.g. pelargonon-acid, citronella-oil) is going to be tested in regard of seed viability and pollen production. The 5th task investigates the impact on non-target species and biodiversity. The interaction between *A. artemisiifolia* and its surrounding vegetation regarding plant species richness and composition of the vegetation as well as the impact of control measures on biodiversity is ascertained. The last task is devoted to implementation and guidance to successful and efficient control and eradication of *A. artemisiifolia*, mainly based on the trial results, but also derived from national databases and publications.

At the point of writing (in October, 2011), the first results of experiments carried out in the partner institutions are being evaluated. They will be discussed at project meetings coming up soon. The results relate to, *inter alia*, the fine-tuning of research methods, e.g., the conduct of seed viability tests, the implementation of mowing and herbicide tests etc. The advantage of the three-year research

period will be the opportunity to adapt experiments according to the first year findings and to gain sufficient results in case of unfavourable weather conditions etc.

3. Perspectives

The project will contribute to advance the knowledge on efficient control and eradication of *A. artemisiifolia*. Results will be disseminated through scientific publications, in comprehensive guidelines in six languages and on web sites related to *A. artemisiifolia*. National conferences addressed to stakeholders and farmers as well as to urban and rural administrators will be conducted. Taking into account the many other activities, such as those of the International Ragweed Society (<http://www.internationalragweedsociety.org>) or national Ambrosia control programmes (BOHREN et al., 2010; KARRER, 2010; STARFINGER, 2012), *A. artemisiifolia* will be among the most studied invasive plant species, so that chances to halt its ongoing spread in Europe should increase.

Acknowledgements

The project "Complex research on methods to halt the Ambrosia invasion in Europe – HALT AMBROSIA" (07.0322/2010/586350/SUB/B2) is funded by the European Commission, Directorate-General Environment.

References

- ALLARD, H.A., 1945: FLOWERING BEHAVIOR AND NATURAL DISTRIBUTION OF THE EASTERN RAGWEEDS (AMBROSIA) AS AFFECTED BY LENGTH OF DAY. *ECOLOGY* **24**, 387-394.
- BOHREN, C., N. DELABAYS AND S. WALDISPÜHL, 2010: AMBROSIA-KONTROLLE – NICHT NUR IN DER LANDWIRTSCHAFT! *AGRARFORSCHUNG SCHWEIZ* 1 (7 – 8): 260–265.
- BRETAGNOLLE, F. AND B. CHAUVEL, 2009: *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* LINNAEUS, COMMON RAGWEED (ASTERACEAE, MAGNOLIOPHYTA). IN: DAISIE (ED.). *HANDBOOK OF ALIEN SPECIES IN EUROPE*, 343. SPRINGER, DORDRECHT.
- CSONTOS, P., M. VITALOS, Z. BARINA AND L. KISS, 2010: EARLY DISTRIBUTION AND SPREAD OF *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* IN CENTRAL AND EASTERN EUROPE. *BOTANICA HELVETICA* **120**, 75–78.
- KARRER, G., 2010: 2. ZWISCHENBERICHT ZUM PROJEKT "AUSBREITUNGSBIOLOGIE UND MANAGEMENT EINER EINGEFÜHRTEN UND EXTREM ALLERGENEN PFLANZE, WEGE UND URSACHEN DER AUSBREITUNG VON RAGWEED (*AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA*)" BBK-PROJEKT Nr. 100198_4, 15.12.2010. BBK, 80.
- STARFINGER, U., 2009: CAN THE GENERAL PUBLIC HELP FIGHT THE INVASION OF AN UNDESIRED PLANT INVADER? THE CASE OF *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA*. *NEOBIOTA* **8**, 217-225.
- STARFINGER, U., 2012: AKTIONSPROGRAMM AMBROSIA IN DEUTSCHLAND - STATUS QUO UND AUSBLICK. *JULIUS-KÜHN-ARCHIV*, **434**, 623-626.

Understanding the present distribution of the parasitic weed *Striga hermonthica* and predicting its potential future geographic distribution in the light of climate change

*Die Verbreitung des parasitären Unkrauts *Striga hermonthica* und Voraussagen zur potentiellen zukünftigen geographischen Verbreitung unter Berücksichtigung des Klimawandels*

Marc Cotter*, Renzoandre de la Pena-Lavander & Joachim Sauerborn

Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie der Tropen und Subtropen, Universität Hohenheim, Garbenstr. 13, 70599 Stuttgart, Germany

*Corresponding author, marc.cotter@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.082

Summary

Parasitic weeds of the genus *Striga* (Orobanchaceae) are a major constraint to agricultural production in the semi-arid regions in Sub-Saharan Africa. Therefore, *Striga hermonthica*'s current and future distribution needs to be estimated urgently in order to better and more efficiently target available *Striga* management strategies. Using innovative GIS-based modeling complemented by greenhouse and field studies, our research aims to better understand the present geographic distribution of *Striga* species and to predict potential future expansion areas of these dangerous weeds. Parameters determining the presence or absence of *Striga* were analyzed and available data complemented by new studies on *Striga* ecology and seed bank dynamics gained at the University of Hohenheim and ICRISAT, Mali.

In order to provide managers and decision maker with a useful tool to take precautionary and palliative actions against the menace of infestation by invasive or parasitic species, it is important to assess the possible future distribution of such species, especially in vulnerable areas where the parasite has not yet appeared.

Based on the present geographic distribution and the factors affecting it, different climate projections have been applied to indicate areas that will become susceptible to *Striga* invasion in the future. Datasets on the impact of climate change from IPCC workgroups have been used as basis for this assessment, combined with information gained from field trips, herbaria assessments and literature. The results of this study show trends in the potential future distribution of *Striga hermonthica*, but also indicate areas where the methodology can be improved and refined to allow more precise and reliable predictions.

Keywords: Climate change, parasitic weed, potential distribution, *Striga hermonthica*

Zusammenfassung

Mit dem Ziel der besseren und effizienteren Umsetzung von Unkrautbekämpfungsstrategien wurde die potenzielle zukünftige Verbreitung von *Striga hermonthica* analysiert. Parasitische Unkräuter aus der Gattung *Striga* (Orobanchaceae) stellen eine der wichtigsten biologischen Schadfaktoren in den Sahel und Sudan Regionen Afrikas dar, deren zukünftiges Verbreitungsspektrum und Reaktion auf einen möglichen Klimawandel dafür untersucht werden müssen. Um dies darstellen zu können, wurden für diese Arbeit GIS-basierte Modellierungskonzepte mit Daten aus Feld- und Gewächshausstudien hinsichtlich der ökologischen Rahmenbedingungen und Samenbank-dynamiken kombiniert.

Besonders in Regionen, in denen diese parasitäre Pflanze noch nicht aufgetreten ist, ist es wichtig, Werkzeuge für die Entscheidungsträger zu entwickeln, die in der Lage sind, besonders anfällige Gegenden zu erkennen um dort frühzeitig Quarantäne- und Bekämpfungsmaßnahmen umzusetzen. Ausgehend von der momentanen geographischen Verbreitung und den zugrunde liegenden Klimafaktoren haben wir verschiedene Klimaprojektionen benutzt, um solche Gegenden zu identifizieren. IPCC-Datensätze zu möglichen Klimawandelszenarien wurden in die Modellierung integriert und mit Datensätzen von Felderhebungen, Herbarien und Literaturrecherchen kombiniert.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen mögliche zukünftige Verbreitungsgebiete von *Striga hermonthica* und erlauben uns, die zugrunde liegende Methodik weiter auszuweiten und zu verfeinern, um genauere und verlässlichere Vorhersagen treffen zu können.

Stichwörter: Klimawandel, parasitäres Unkraut, potentielle Verbreitung, *Striga hermonthica*

1. Introduction

Parasitic weeds of the genus *Striga* (Orobanchaceae) cause considerable yield losses, especially in the savanna regions of Sub-Saharan Africa (SAUERBORN et al., 2003). The geographic distribution and the infestation level of *Striga* are steadily increasing, particularly in Sub-Saharan Africa (EMECHEBE, 2004; EJETA, 2007). There are different explanations for this trend such as trade and transport of contaminated seeds, cattle movement between fields, dispersal of *Striga* seeds through wind and surface water flows and lack of knowledge and means to control *Striga* (BERNER et al., 1994). The main driving forces for the increase of the *Striga* problem, besides convenient climate, however, are (1) reduced soil fertility (SAUERBORN et al., 2003), (2) increased land use, mostly on depleted soils and (3) expansion of the area cropped with susceptible host crops (GRESSEL et al., 2004). Future climate change may further influence the geographic distribution and invasive potential of *Striga* as habitats suitable for *Striga* growth might expand and/or shift to new areas (MOHAMED et al., 2006).

As *Striga* is a major constraint to agriculture of the semi-arid regions in Sub-Saharan Africa, *Striga*'s current and future distribution needs to be estimated urgently in order to better and more efficiently target available *Striga* management strategies. Using innovative GIS-based modeling complemented by greenhouse and field studies, this project aims to better understand the present geographic distribution of *Striga* species and to predict potential future expansion areas of these dangerous weeds. Parameters determining the presence or absence of *Striga* will be analyzed and available data complemented by new studies on *Striga* ecology and seed bank dynamics gained in green house or field studies at Hohenheim and at the International Center for Research in the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Bamako.

As *Striga* is mainly a problem in Africa, we decided to take two African countries as reference sites. First choice countries are Mali and Ethiopia, because of their wide range of climatic conditions (various precipitation and temperature gradations) and very diverse cropping systems. Based on the present geographic distribution and the factors affecting it, different climate scenarios have been applied to indicate areas that will become susceptible to *Striga* invasion in the future.

Among the recent challenges to ecologists the prediction of occurrence for potentially dangerous species such as pests or parasites has become vital because they represent a threat to health and the access of food for an important number of human populations over the world. This is maybe also manifested in the appearance of multiple species distribution models (SDM) in the last two decades (GUISAN AND THUILLER, 2005). Following that pathway, the aim of this document is to provide an insight into the possible future distribution of the dangerous parasitic plant *Striga hermonthica* for the African continent, under the framework of climate change for different emission scenarios. When modeling the geographical distribution of any species, their basic needs and preferences must be acknowledged *a priori*. This is typically achieved by recording georeferenced data in addition to a set of environmental variables measured *in situ* (PHILIPS et al., 2004). Species distribution models (SDM) are able to calculate the relationship between the documented occurrences of the species of interest in the landscape and the environmental/spatial characteristics at the sites they were found (ELITH et al., 2011). By doing so, we can aim to estimate or predict any species' potential distribution under particular circumstances when the right assumptions are met. In this sense it is important to highlight that this potential distribution alludes to the Hutchinson's fundamental niche in a narrow sense and comprises the suitable conditions for the species survival. Species will be effectively recorded in areas where they were able to remain after colonization; this is regarded as the realized niche of the species (ANDERSON et al., 2003; PEARSON AND DAWSON, 2003; GUISAN AND THUILLER, 2005). Realized niches (realized distributions) can be estimated by removing the areas where the species is known to be absent. This absence is often a representation of other ecological interactions such as competition or impossibility for dispersal, even anthropogenic disturbances (PHILIPS et al., 2004).

2. Materials and methods

2.1 Data availability

For this investigation, presence-only data of *Striga hermonthica* from Africa was used. The sample

consist of a total of 409 georeferenced records (Fig. 1) gathered from different sources: National Herbarium Nederland, Missouri Botanical Garden, Royal Botanic Gardens Kew, Real Jardin Botanico de Madrid, Cameroon National Herbarium, Herbarium togoense at Université de Lomé, Museum national d'histoire naturelle et Réseau des Herbiers de France and Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics at University of Hohenheim. Modeling software such as DIVA-GIS and MaxEnt have proven to be advantageous instruments in this matter (ANDERSON et al., 2003; GANESHIA, 2003; GARZON et al., 2006) and were used to predict the potential distribution of *Striga hermonthica* under different emission scenarios for the year 2020 for the whole African Continent.



Fig. 1 Distribution of *Striga hermonthica* occurrence data in Africa. A total of 408 samples have been considered. Notice the higher data density in West Africa.

Abb. 1 Verteilung der Präsenzdatensätze von *Striga hermonthica* in Afrika.

2.2 MaxEnt and climate datasets

When modeling, independent variables are called *covariates*, *predictors* or *inputs*. These include environmental variables like climate or soil as well as categorical variables like ecosystem types. Transformations of the available data are termed *features* and in MaxEnt, five classes are provided: Linear, product, quadratic, hinge and threshold (ELITH et al., 2011; MaxEnt 3.3.3e help). For the explanation on the functioning of MaxEnt, we mainly follow the document by ELITH et al. (2011). The maximum entropy approach for modeling is based on the premise that without the information provided by occurrence data there will be no reason to expect species to prefer any kind of environmental conditions in particular, so the best predictor will be that the species occupied the environment proportional to their availability, that is a uniform distribution (PHILIPS et al., 2004). Being aware of the uncertainties of the future that not even the most carefully thought plan can avoid, the year 2020 was proposed as the target for future distribution modeling of our target species. Datasets for current climate based on long-term observations as well as climate changes scenarios for the IPCC's A2a and B2a scenario have been used for this study (IPCC, 2007).

By predicting the distribution of *Striga* only up to the year 2020 and no further, we hope to minimize the political, social and environmental uncertainties that could otherwise be greater as we try to look further in the future, subtracting importance to the investigation presented here. Environmental covariate data was provided to MaxEnt in form of 19 bio-climatic variables. These bioclim variables are derived from the CLM files used in DIVA-GIS. The CLM files were produced following the procedure described by RAMIREZ and BUENO-CABRERA (2009) and loaded into DIVA-GIS together with a

georeferenced shapefile. Later, the study area of interest - in this case Africa - is selected and the 19 bioclim variables are extracted following SCHEDEMANN and VAN ZONNEVELD (2010). The 19 bioclimatic variables were better related to aspects of plant growth than monthly temperature and precipitation data. There was a suspicion about different subgroups of *Striga hermonthica* across the continent, so the total sample (408 points) was divided into four subgroups, namely North, South, East and West. Models were produced for each subgroup including one for the total sample. All models were run in MaxEnt using the whole African Continent as background data and the projections were also made to the full extent of the continent. It was set into the program's commands that 25 % of the samples units used for the predictions must be retained for a model random test of performance, including receiver operating curve (ROC) and area under curve (AUC) to measure the importance of each covariate in the final model. All other settings were left as default but a 10 percentile training presence was selected as the threshold rule.

3. Results

3.1 Modelling performance

The software MaxEnt also provided results for some statistical test conducted on to the data we provided in order to produce the prediction maps. The aim of these tests was to show the potential of our predictions and also by which factors they were most affected. The receiver operation curve (ROC) is a graphical representation of how well our model fitted the data (PHILLIPS, 2009); it is represented in the MaxEnt output by a light grey line (Fig. 2). Considering that we set aside 25 % of our samples to use by the model as a random test, so the dark grey line indicated the fit of the model to this test data. The black line symbolized the predicted omission which shows how a model that is no better than random would fit our data. The more the breaking point of the training and test curves approaches the upper left corner of the graphic, the better our model performs to predict the presences contained in both training and test data. In case one of the training or test lines would have been placed below the black line - which is not the case - the estimated model would have resulted worse than a random distribution model.

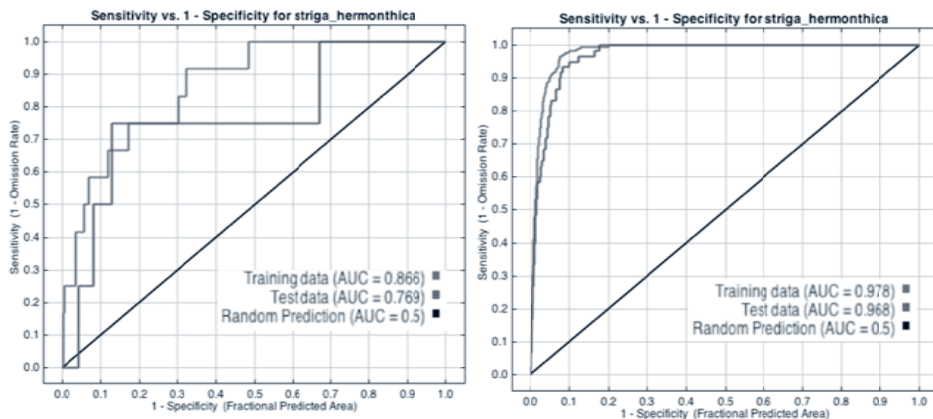


Fig. 2 Receiver operation curve (ROC) for training and test data, also showing the area under curve (AUC). The left graphic corresponds to the model estimated using the east subgroup sample. The right graphic corresponds to the west subgroup sample.

Abb. 2 Receiver operation curve (ROC) als graphische Darstellung der Modellierungsgenauigkeit.

The area under the curve (AUC) is a measure of the models performance independently of any threshold applied (PHILLIPS et al., 2006); for this investigation the training data AUC was 0.969 while in case of the test data, 0.954. For the training data, this implies that for 97 % of the time, a random selection from that data would have shown a better performance than the random model (FIELDING and BELL, 1997). Along with the percentage of contribution to the model a score (percentage) on

permutation importance was provided. The permutation importance depends only on the final model, regardless of the path followed to arrive at the solution. The value of each covariate was randomly permuted among training points, the score depended on the decrease of the AUC as a result of the permutation and a large decrease can be interpreted as the model strongly relied on the permuted variable (PHILLIPS, 2009). In the model produced using all the 408 samples, the most important covariates were precipitation of warmest quarter (29.3 %) and temperature seasonality (14.6 %). When analyzing the east cluster alone, the main influencing factors changed: Temperature seasonality (48.4 %), isothermality (21.8 %) and precipitation of the warmest quarter (20.4 %).

3.2 Potential Distribution of *Striga hermonthica*

For the first set of predictions for the potential distribution of *Striga hermonthica* the four subgroups (North, South, East and West) and the total sample were modeled using the 19 Bioclim covariates for the current conditions (1950 - 2000). Comparing the output of the model runs for each subgroup and the one made using the total of samples, differences in the prediction of the potential distribution of *Striga* was observed. This could lead us to interpret each subgroup of samples effectively as subgroups for the species. But a closer analysis did tell a different story. If focusing, for instance, on the potential distribution obtained from the total sample (408 points) shown in Figure 1, the output showed that the species was strongly present on Western Sub-Saharan Africa if that result was compared to our sample distribution map in Figure 1. It was possible to relate that strong western presence to a much higher sampling intensity in that region, the implication of the sampling design implemented and its consequences in the final predictions will be discussed later.



Fig. 3 Predicted potential distribution of *Striga hermonthica* in Africa under current climate conditions. Values given in the legend indicate probability of suitable climate conditions.

Abb. 3 Prognose der potentiellen Verbreitung von *Striga hermonthica* unter Berücksichtigung der derzeitigen Klimaverhältnisse.

3.3 Potential future distribution under climate change

We used the variables for most important climatic factors not only for the prediction of the current distribution of *Striga hermonthica*, but also, by exchanging the climate data layer with the layers for A2A and B2A emission scenarios, for the prediction of the potential distribution under climate change. The resulting maps can be seen in Figure 4.

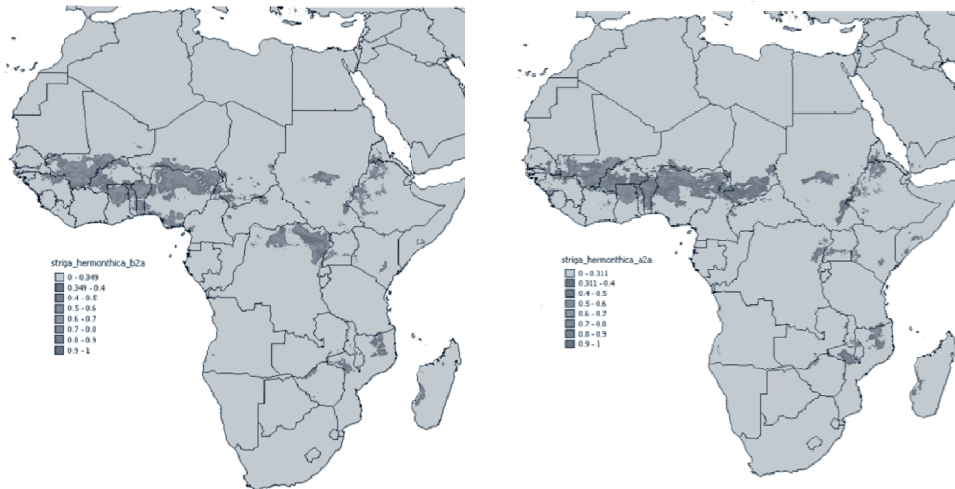


Fig. 4 Potential distribution of *Striga hermonthica* in 2020 under climate change scenarios. On the left, the potential distribution in the B2A climatic scenario and on the right for the A2A scenario. Values given in the legend indicate probability of suitable climate conditions.

Abb. 4 Prognose der potentiellen Verbreitung von *Striga hermonthica* unter Klimawandelszenarien.

4. Discussion

4.1 Model performance

It was mentioned before during the analysis of the subgroups of *Striga hermonthica* how sampling affected the produced model. It was clear, looking at the subgroup and total models the impact of sampling effort, which in this case represented a bias. There is a strong west-cluster imprint in the potential distribution of the total sample thus both models looked and performed similarly. The background data (environmental inputs) of choice for the purpose of modeling also had an impact on the final model as demonstrated by the first study case included in the document prepared by ELITH et al. (2011). In our particular situation, the background elected was the whole African continent so the model had to extrapolate the training data to an “unknown” environmental space. A way out this problem was to restrict the prediction to areas where the species absence is known, that means to just use areas where the species is known to occur as background data, and to project the prediction to the entire continent.

Models must not only be statistically robust but also make sense ecologically. It was recommended here to implement a suitable sampling method to improve the distribution patterns of data used as input for the modeling process. This method should not lead to classify different subgroups according to sampling effort, but to ecological implication. Also a better selection of the background data should be made. A suggestion is to select “clusters of background data” surrounding patches of samples and create a stack with them. The estimation based on the stack should be projected into the landscape of interest for current and future climate conditions.

4.2 Potential distribution and climate change

With the modeling method presented here, we can clearly see differences in the potential distribution of *Striga hermonthica* between the datasets for current climate and the two climate change scenarios. Mostly due to an increase in temperature and changing precipitation patterns within the Sudan region of Sub-Saharan Africa, the suitability of these areas for *Striga* is reduced in the climate change scenarios (e.g. Burkina Faso), with the distribution range moving further into Central Africa. Interestingly, the more extreme emission scenario A2a seems to reduce the expected range of *Striga*. The cause is most likely the more extreme impact on temperatures that are predicted

for A2a scenario. This means that not only *Striga* is less likely to be found in these places, but also its host crops will face more adverse growing conditions.

Assessments of the potential future distribution of weeds such as presented in this article can be used to improve crop and soil management systems in areas that could become susceptible to *Striga* infestation. The methods developed here can help to establish medium-term management strategies for extension work in future hotspots and raise awareness of potential threats to food security in Sub-Saharan Africa.

References

- AFLAKPUI, G.K.S., P.J. GREGORY AND R.J. FROUD-WILLIAMS, 1998: EFFECT OF TEMPERATURE ON SEED GERMINATION RATE OF *STRIGA HERMONTICA* (DEL.) BENTH. CROP PROTECTION **17**, 129-133.
- ANDERSON, R.P., D. LEW AND A. TOWNSEND PETERSON, 2003: EVALUATING PREDICTIVE MODELS OF SPECIES' DISTRIBUTIONS: CRITERIA FOR SELECTING OPTIMAL MODELS. ECOLOGICAL MODELLING **162**, 211-232.
- BERNER, D.K., K.F. CARDWELL, B.O. FATUROTOI, F.O. IKIE AND O.A. WILLIAMS, 1994: RELATIVE ROLES OF WIND, CROP SEEDS, AND CATTLE IN DISPERSAL OF *STRIGA* SPP. PLANT DISEASE **78**, 402-406.
- COCHRANE, V. AND M.C. PRESS, 1997: GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION AND ASPECTS OF THE ECOLOGY OF THE HEMIPARASITIC ANGIOSPERM *STRIGA ASIATICA* (L.) KUNTZE: A HERBARIUM STUDY. JOURNAL OF TROPICAL ECOLOGY **13**, 371-380.
- EJETA, G., 2007: THE *STRIGA* SCOURGE IN AFRICA: A GROWING PANDEMIC. PP. 3-16 IN: EJETA, G. AND J. GRESSEL (EDS.): INTEGRATING NEW TECHNOLOGIES FOR *STRIGA* CONTROL: TOWARDS ENDING THE WITCH-HUNT. SINGAPORE: WORLD SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY PTE LTD.
- EMECHEBE, A.M., J. ELLIS-JONES, S. SCHULZ, D. CHIKOYE, B. DOUTHWAITE, I. KUREH, G. TARAWALI, M.A. HUSSAINI, P. KORMAWA AND A. SANNI, 2004: FARMERS' PERCEPTION OF THE *STRIGA* PROBLEM AND ITS CONTROL IN NORTHERN NIGERIA. EXPERIMENTAL AGRICULTURE **40**, 215-32.
- ELITH, J., S.J. PHILIPPS, T. HASTIE, M. DUVIK, Y.E. CHEE AND C.J. YATES, 2011: A STATISTICAL EXPLANATION OF MAXENT FOR ECOLOGISTS. DIVERSITY AND DISTRIBUTIONS **17**, 43 - 57.
- FIELDING, A.H. AND J.F. BELL, 1997: A REVIEW OF METHODS FOR THE ASSESSMENT OF PREDICTION ERRORS IN CONSERVATION PRESENCE/ABSENCE MODELS. ENVIRONMENTAL CONSERVATION **24**, 38-49.
- GRENZ, J.H. AND J. SAUERBORN, 2007: MECHANISMS LIMITING THE GEOGRAPHICAL RANGE OF THE PARASITIC WEED *OROBANCHE CRENATA*. AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT **122**, 275-281.
- GRESSEL, J., A. HANAFI, G. HEAD, W. MARASAS, B.A. OBILOANA, J. OCHANDA, T. SOUSSI AND G. TZOTZOS, 2004: MAJOR HERETOFORE INTRACTABLE BIOTIC CONSTRAINTS TO AFRICAN FOOD SECURITY THAT MAY BE AMENABLE TO NOVEL BIOTECHNOLOGICAL SOLUTIONS. CROP PROTECTION **23**, 661-689.
- GUISSAN A. AND W. THUILLER, 2005: PREDICTING SPECIES DISTRIBUTION: OFFERING MORE THAN SIMPLE HABITAT MODELS. ECOLOGY LETTERS **8**, 993-1009.
- MOHAMED, K.I., 2001: THE GENUS *STRIGA* (SCROPHULARIACEAE) IN AFRICA. ANNALS OF THE MISSOURI BOTANICAL GARDEN **88**, 60-103.
- MUSSELMAN, L.J., 1980: BIOLOGY OF *STRIGA*, *OROBANCHE*, ANOTHER ROOT-PARASITIC WEED. ANNUAL REVIEW OF PHYTOPATHOLOGY **18**, 463-498.
- PARKER, C., 2009: OBSERVATIONS ON THE CURRENT STATUS OF *OROBANCHE* AND *STRIGA* PROBLEMS WORLDWIDE. PEST MANAGEMENT SCIENCE **65**, 453-459.
- PEARSON, R.G. AND T.P. DAWSON, 2003: PREDICTING THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON THE DISTRIBUTION OF SPECIES: ARE BIOCLIMATE ENVELOPE MODELS USEFUL? GLOBAL ECOLOGY AND BIOGEOGRAPHY **12**, 36-371.
- PHILIPPS, S.J., R.P. ANDERSON AND R.E. SCHAPIRE, 2006: MAXIMUM ENTROPY MODELING OF SPECIES GEOGRAPHIC DISTRIBUTIONS. ECOLOGICAL MODELLING **190**, 231-259.
- PHILIPPS, S.J., M. DUDIK AND R.E. SCHAPIRE, 2004: A MAXIMUM ENTROPY APPROACH TO SPECIES DISTRIBUTION MODELING. PROCEEDINGS OF THE 21ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING, PP. 655 - 662.
- SAUERBORN, J., B. KRANZ AND H. MERCER-QUARSHIE, 2003: ORGANIC AMENDMENTS MITIGATE HETEROTROPHIC WEED INFESTATION IN SAVANNAH AGRICULTURE. APPLIED SOIL ECOLOGY **23**, 181-186.
- SCHELDEMAN, V., AND M. VAN ZONNEVELD, 2010: TRAINING MANUAL ON SPATIAL ANALYSIS OF PLANT DIVERSITY AND DISTRIBUTION. BIODIVERSITY INTERNATIONAL. ROME. ITALY.
- VAN DELFT, G., J.D. GRAVES, A.H. FITTER AND M.A. PRIUKSMA, 1997: SPATIAL DISTRIBUTION AND POPULATION DYNAMICS OF *STRIGA HERMONTICA* SEEDS IN NATURALLY INFESTED FARM SOILS. PLANT AND SOIL **195**, 1-15.
- WEBER, G., K. ELMO, S.T.O. LAGOKE, A. AWAD AND S. OIKEH, 1995: POPULATION DYNAMICS AND DETERMINANTS OF *STRIGA HERMONTICA* ON MAIZE AND SORGHUM IN SAVANNA FARMING SYSTEMS. CROP PROTECTION **14**, 283-290.

Sektion 8: Populationsdynamik und Biodiversität

Section 8: Population dynamics and biodiversity

Zur Überwinterung von Flughafer (*Avena fatua* L.)

Overwinter survival of wild oat (*Avena fatua* L.)

Katrin Rießner, Bodo Hofmann, Lothar Siebert & Olaf Christen*

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Allgemeiner Pflanzenbau/Ökologischer Landbau, Betty-Heimann-Str. 5, D-06120 Halle/Saale

*Korrespondierender Autor, olaf.christen@landw.uni-halle.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.083

Zusammenfassung

In einem Freiland-Modellversuch auf Tschernosem (Standort Halle, Heide-Süd) wurde in 2010/11 das Überwinterungsverhalten (Temperaturminimum Luft -17 °C, Boden in 5 cm - 5 °C) von sechs *Avena fatua*-Varietäten, vier vorwinterlichen Entwicklungsstadien (BBCH) und fünf standörtlich verschiedenen Herkünften untersucht.

Der morphologische Entwicklungsstand der Flughaferpflanzen vor dem Winter wirkte sich dabei wesentlich auf die Frostverträglichkeit aus. Die größten Überlebensraten traten im BBCH-Stadium 20-22 auf. Jüngere (BBCH 9-10, 11) und ältere Pflanzen (BBCH 23-25) überlebten den Winter unter den spezifischen Versuchsbedingungen zumeist nicht. Bei der Varietät *intermedia* war die Frostverträglichkeit am größten, die geringste kam bei den Varietäten *cinerea* und *pilosa* vor. Die Varietäten *pilosissima*, *superba* und *glabrata* nahmen eine Mittelstellung ein.

Auswirkungen waren auch bei der Herkunft der Karyopsen zu erkennen. Bei den Wische-Herkünften war die Anzahl der überwinternden Pflanzen (Varietäten *cinerea* und *pilosissima*) vergleichsweise hoch. Dabei wies die Varietät *pilosissima* bei den Herkünften der Wische, Elbaue und aus Thüringen deutlich größere Überwinterungsraten als die Varietät *cinerea* auf. Die mediterran verbreitete Wildhaferart *Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* Dur. zeichnete sich gegenüber den *Avena fatua*-Varietäten in den BBCH-Stadien 11, 20-22 und 23-25 durch eine wesentlich größere Frosttoleranz aus.

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass künftig mit einer vermehrten Reproduktion frostverträglicher Flughafer-Biotypen zu rechnen sein wird.

Stichwörter: *Avena*-Arten, *Avena fatua*-Varietäten, Frosttoleranz, Herkunft, Karyopse, Ontogenese, Polymorphismus, Standort

Summary

The overwinter survival of six different varieties sampled at five geographical locations of *Avena fatua* L. was investigated in a model experiment on a black earth soil (site Halle, Germany). Temperatures dropped to -17 °C and -5 °C in 5 cm depth. The plants were assessed at four sampling dates before winter.

The overwinter survival of wild oat was mainly affected by the developmental stage of the plants before winter. Highest survival rates were recorded in BBCH stage 20 to 22. Smaller plants (BBCH 9 to 10 or 11) did mostly not survive. The winter hardiness of the variety *intermedia* was higher compared with the varieties *pilosissima*, *superba* and *glabrata*. The lowest hardiness was recorded in the varieties *cinerea* and *pilosa*. Additionally, the sampling location had an effect on the winter hardiness of the caryopsis. If the samplings were taken in the area of the Wische, the number of surviving plants of the varieties *cinerea* and *pilosissima* was higher. Especially the variety *pilosissima* showed very high survival rates if sampled in the Wische, Elbaue or Thuringia compared with the variety *cinerea*. The wild oat species *Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* Dur., which is mainly found in Mediterranean environments, showed a much stronger winter hardiness compared with the *Avena fatua* varieties in the growth stages 11, 20 to 22 and 23 to 25. We therefore argue that in future climatic condition it is very likely, that the reproduction of winter hard varieties will increase.

Keywords: *Avena*-species, *Avena fatua* varieties, caryopsis, frost tolerance, habitat, ontogenesis, polymorphism, regional origin

1. Einleitung

Der Flughafer, ein überwiegend auf lehmigen bis tonigen Standorten verbreitetes, nicht frosthartes Ackerwildgras, ist aufgrund seines stark ausgeprägten morphologischen Polymorphismus durch einen markanten Formenreichtum gekennzeichnet. Zur Art *Avena fatua* L. gehören zahlreiche Varietäten, die sich in spezifischen morphologischen Merkmalen wesentlich voneinander unterscheiden (PRANTE, 1971). Das annuelle Problemungras Flughafer erweist sich hinsichtlich seiner Standortansprüche, des Lebensrhythmus, der Fortpflanzungsstrategien sowie der anatomischen und morphologischen Strukturen sowohl an lokale natürliche Standortverhältnisse als auch an agrotechnische und agrochemische Intensivierungsmaßnahmen als besonders anpassungsfähig (BACHTHALER, 1970; ZWARGER und AMMON, 2002).

Avena fatua L. überwintert als dormante Spelzfrucht im Ackerboden und hat infolge der Dormanzbrechung im Vorfrühling sein Keimmaximum. Aber auch im Herbst, nach der Bestellung der Winterung, werden Aufgänge von Flughaferkaryopsen beobachtet. In dieser Hinsicht sind neuere Untersuchungen von BÖTTCHER et al. (2009) bemerkenswert, die auf varietätenspezifische Differenzierungen im Herbstaufgang hinweisen. Zudem wird immer öfter aus der landwirtschaftlichen Praxis berichtet, dass im Herbst auflaufende Flughaferpflanzen in milden Wintern sogar überdauern. Diese überwinterten Herbstkeimer besitzen gegenüber den Frühlingsaufgängen und Kulturpflanzen wegen ihres Vegetationsvorsprungs einen erheblichen Konkurrenzvorteil und erreichen so ein großes Reproduktionsvermögen, wie neuere Ergebnisse von RABE (2011) bestätigen.

Mit den vorliegenden Untersuchungen sollen die bisherigen Beobachtungen (HOFMANN et al., 2010; RABE, 2011) zur Überwinterung von Flughaferpflanzen verifiziert und erweitert werden. Speziell ist dabei zu klären, wie sich das Ontogenesestadium und die einzelnen Varietäten, aber auch das Herkunftsgebiet bzw. die speziellen Standortbedingungen (Natürliche Standorteinheit, NStE) auf das Überwinterungsverhalten von *Avena fatua* L. auswirken.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in einer Freiland-Bodenrinnenanlage des Institutes für Agrar- und Ernährungswissenschaften (Standort Halle, Heide-Süd) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg durchgeführt. Diese Kleinparzellen bestehen aus anthropogen beeinflusstem lößähnlichen Krumenboden (Tab. 1). Die C_{org} -Gehalte weisen für diesen Boden mit 1,5 M.-% substrattypische Werte auf.

Tab. 1 Korngrößenverteilung und Bodenart des Versuchsbodens.

Tab. 1 Particle size distribution and soil textural classes.

Bodentiefe [cm]	Korngrößen [mm]					Feinanteile < 0.0063	Bodenart ¹
	Sand 2,0- 0,063	Schluff < 0,063-0,002	Ton < 0,002	Abschlamm- bares < 0,02			
0-20	29	52	19	45.5	26	Lu	
21-40	31	48	21	46.5	28	Ls2	

¹ Lu – schluffiger Lehm, Ls2 – schwach sandiger Lehm

Die Luft- und Bodentemperaturen wurden während des Versuchszeitraumes an verschiedenen Stellen kontinuierlich mit Pt 100-Sensoren erfasst. Die Verläufe ausgewählter Luft- und Bodentemperaturen sind in der Abbildung 1 dargestellt. Zudem ist besonders hervorzuheben, dass im Zeitraum vom 29.11.10 bis 08.01.11 die gesamte Versuchsfläche von einer geschlossenen Schneeschicht bedeckt war, die in ihrer Mächtigkeit zwischen 13 und 26 cm schwankte. Die in dieser Zeit auftretenden minimalen Lufttemperaturen erreichten bis zu -17 °C. Sie führten jedoch infolge der schützenden Schneedecke nur unwesentlich zum Unterschreiten der Nullgradgrenze in 0 bis 5 cm Bodentiefe.

Am 09.01.11 schmolz der Schnee rasch und der Boden erreichte an mehreren Tagen über die

Feldkapazität hinausgehende Sättigungswerte. Die Kontrollpflanzen waren nunmehr unmittelbar der direkten Kälteeinwirkung ausgesetzt. In dieser Zeit wurden Lufttemperaturen von -11 °C und in Werte von bis zu -5 °C in 0 bis 5 cm Bodentiefe gemessen. In den Überwinterungsversuchen von *Avena fatua* L. wurden nachfolgende Prüffaktoren berücksichtigt:

- 4 verschiedene Entwicklungsstadien (BBCH 09-10, 11, 20-22, 23-25) der Flughaferpflanzen vor Beginn der Vegetationsruhe im Spätherbst. Die Aussaatzeiten waren gestaffelt. Sie erfolgten entsprechend am 08.09., 29.09., 19.10. und 02.11.2010.
- 6 Flughafervarietäten, die beiden Hauptvarietäten *cinerea* Pran. und *pilosissima* S. F. Gray 1821 sowie die 4 Begleitvarietäten *glabrata* Peterm. 1841, *superba* Pran., *pilosa* Syme und *intermedia* Lej. und Court. 1828. Als Referenz zu den Flughafervarietäten wurde die im Mittelmeergebiet verbreitete Wildhaferart *Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* Dur. (Winterflughafener, Wilder Rothafer), Herkunft Korfu, in die Untersuchungen mit einbezogen.
- 5 standörtlich sehr unterschiedliche Herkunftsgebiete Mittel- und Ostdeutschlands bzw. natürliche Standorteinheiten (EHWALD, 1980): Wische (NStE AI 1), Oderbruch (NStE AI 2), Elbaue (NStE AI 3), Bördestandorte (NStE Lö 1) und Thüringen (NStE V2).

Das verwendete Kontrollsaatgut stammte von Praxisschlägen dieser fünf repräsentativen Hauptherkunftsgebiete. Es wurde in den Jahren 2008 und 2009 zumeist in Winterweizenbeständen bei Vollreife der Spelzfrüchte (BBCH 89-90) geerntet. Die Erfassung der Entwicklungsstadien der Flughaferpflanzen basiert auf der erweiterten BBCH-Skala (MEIER und BLEIHOLDER, 2006). Die Bonitur der BBCH-Stadien der Kontrollpflanzen für die vier Aussaatzeiten wurde vor Winterbeginn, zum Zeitpunkt der relativen Vegetationsruhe am 07.12. 2010 vorgenommen. Grundlage für die Diagnostik der sechs Kontrollvarietäten bildeten die Karyopsenmerkmale nach der von PRANTE (1971) empfohlenen *Avena fatua*-Systematik.

Das Saatbett wurde aussaatgerecht vorbereitet. In die mittels Reihenzieher angelegten Rillen (Reihenweite 15 cm) wurde das Kontrollsaatgut (100 Spelzfrüchte je Varietät und Herkunft) vollständig randomisiert (3-fache Wiederholung) in 2 cm Bodentiefe per Hand abgelegt und bedeckt.

Die Bonitur der Feldaufgangswerte erfolgte im 1-Blattstadium (BBCH 11). Die ermittelten Feldaufgänge (Spätherbst 2010) bildeten die Grundlage für die Berechnung der Überwinterungsraten. Diese wurden als Messwert für die Frosttoleranz genutzt. Die Ermittlung der überwinterten Flughaferpflanzen wurde im zeitigen Frühjahr (09.04.2011) visuell durchgeführt. Als überwintert zählten die Kontrollpflanzen mit vitaler Sprossknospe.

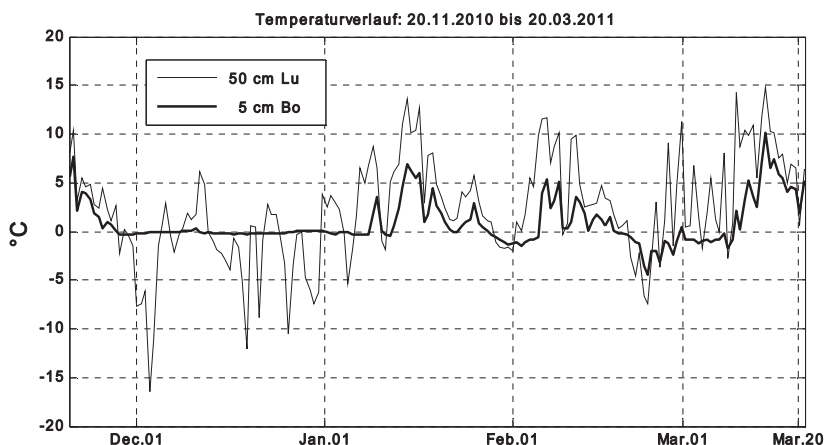


Abb. 1 Lufttemperatur (50 cm Höhe) und Bodentemperatur (5 cm Bodentiefe) im Versuchszeitraum 2010/2011.

Fig. 1 Air temperature (50 cm height) and soil temperature (5 cm soil depth) in the trial period 2010/2011.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse belegen eindeutig den dominanten Einfluss des Ontogenesestadiums auf die Frostverträglichkeit der Flughaferpflanzen. Unter Berücksichtigung der Überwinterungsrate als Prüfkriterium für die Frosttoleranz von *Avena fatua* L. ist das vorwinterliche Pflanzenentwicklungsstadium BBCH 20-22 im direkten Vergleich zu den übrigen Kontrollstadien BBCH 23-25 und BBCH 11 durch signifikant höhere Überwinterungsraten gekennzeichnet. Im Varietätenvergleich beträgt die Überwinterungsrate bei BBCH 20-22 im Mittel der Varietäten 13,1 % und im Herkunftvergleich nahezu übereinstimmend 11,4 % (Tab. 2 und 3).

Tab. 2 Überwinterungsraten [%] von *Avena fatua*-Varietäten (09.04.11) bei verschiedenen Ontogenesestadien (Mittel der Herkünfte).

Tab. 2 Overwinter survival [%] of *Avena fatua*-varieties (09.04.11) at different phases of ontogenesis.

<i>Avena fatua</i> - Varietäten	Überwinterungsraten [%] bei Entwicklungsstadium (BBCH)			
	9-10	11	20-22	23-25
<i>cinerea</i>	0,0	0,5	9,8 a	0,1
<i>pilosissima</i>	0,0	0,9	13,0 c	0,3
<i>pilosa</i>	0,0	0,4	10,8a,b,c	0,9
<i>glabrata</i>	0,0	0,4	12,5 b,c	0,3
<i>intermedia</i>	0,0	0,0	18,6 d	1,2
<i>superba</i>	0,0	1,8	13,7 b	0,0
<i>A. fatua</i> -Mittel	0,0	0,7	13,1	0,5

Bemerkung: verschiedene Kleinbuchstaben kennzeichnen Signifikanzen (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$) innerhalb des BBCH-Stadiums 20-22.

Das ältere Entwicklungsstadium BBCH 23-25 des Flughafers ist hingegen als besonders frostsensibel einzuschätzen. Im Mittel der Varietäten ist in diesem Prüfstadium unter den Versuchsbedingungen nur eine außerordentlich geringe Überlebensrate von 0,5 % zu beobachten. Ähnlich niedrig liegt die Überwinterungsrate der beiden dominanten Varietäten *cinerea* und *pilosissima* im Herkunftvergleich. Sie beträgt im Mittel lediglich 0,2 %. Im direkten Vergleich der beiden Hauptvarietäten erweist sich die Varietät *pilosissima* gegenüber der Varietät *cinerea* in den drei Prüfstadien BBCH 11, 20-22 und 23-25 tendenziell als frostverträglicher.

Ähnlich kälteempfindlich ist das vorwinterliche BBCH-Stadium 11 anzusehen. Auch hier ist im Varietäten- und Herkunftvergleich nur eine sehr geringe Überlebensrate von 0,7 bzw. 0,6 % feststellbar. Die noch schwach entwickelten *Avena fatua*-Pflanzen der späten Herbstsaat vom 02.11.10 mit dem vorwinterlichen BBCH-Stadium 09 ("Koleoptile - erstes Laubblatt") unterliegen unter den lokalwinterlichen Bedingungen ausnahmslos dem Kältetod.

Ein differenziertes Frosttoleranzverhalten wird im Varietätenvergleich bei BBCH 20-22 sichtbar. In diesem Entwicklungsstadium zeichnen sich vor allem die Begleitvarietäten *intermedia* (18,6 %) und *superba* (13,7 %) durch deutlich höhere Überwinterungsraten aus. In abgeschwächter Form trifft diese Bewertung auch auf die Varietäten *pilosissima* (13,0 %) und *glabrata* (12,5 %) zu. Geringfügig unter diesen Werten ordnen sich die Varietäten *pilosa* (10,8 %) und *cinerea* (9,8 %) ein.

Im Herkunftvergleich treten die höheren Überwinterungsraten im Stadium BBCH 20-22 bei der Varietät *pilosissima* des Standortes Giesenslage (18,2 %) und der Varietät *cinerea* vom Standort Wendemark (14,5 %) aus dem Gebiet der Wische deutlich hervor. Auch bei den Herkünften aus Thüringen (Aubitz) und der Elbaue (Pannigkau) werden bei der dominanten Varietät *pilosissima* über dem Mittelwert liegende Überwinterungsraten von 13,4 bzw. 14,5 % nachgewiesen.

Tab. 3 Überwinterungsraten [%] der *Avena fatua*-Varietäten *cinerea* und *pilosissima* (09.04.11) bei verschiedenen Herkunftsgebieten und Ontogenesestadien.

Tab. 3 *Overwinter survival [%] of Avena fatua-varieties (09.04.11) at different regional origin and phases of ontogenesis.*

Herkunftsort d. Saatgutes		Überwinterungsraten [%] bei Entwicklungsstadium (BBCH)			
	Varietät	9-10	11	20-22	23-25
Herkunftsgebiet: Wische (NStE AI 1)					
Wendemark	<i>cinerea</i>	0,0	0,5	14,5 a	0,0
Giesenslage	<i>pilosissima</i>	0,0	1,0	18,2 b	0,0
Herkunftsgebiet: Oderbruch (NStE AI 2)					
Zechin	<i>cinerea</i>	0,0	1,0	11,9 a	0,5
Zechin	<i>pilosissima</i>	0,0	0,0	9,5 a	0,4
Herkunftsgebiet: Elbaue (NStE AI 3)					
Wartenburg	<i>cinerea</i>	0,0	0,5	5,2 a	0,0
Pannigkau	<i>pilosissima</i>	0,0	0,0	14,5 b	0,0
Herkunftsgebiet: Börde (NStE Lö 1)					
Wanzleben	<i>cinerea</i>	0,0	0,4	8,3 a	0,0
Etgersleben	<i>pilosissima</i>	0,0	1,0	9,2 a	0,4
Herkunftsgebiet: Thüringen (NStE V 2)					
Aubitz	<i>cinerea</i>	0,0	0,0	9,2 a	0,0
Aubitz	<i>pilosissima</i>	0,0	1,4	13,4 b	0,5
Mittel		0,0	0,6	11,4	0,2

Bemerkung: verschiedene Kleinbuchstaben kennzeichnen Signifikanzen (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$) innerhalb des BBCH-Stadiums 20-22.

Nicht unbedingt erwartete Ergebnisse zeigen sich im *Avena*-Artenvergleich (Tab. 4). Die im Mittelmeergebiet verbreitete Wildhaferart *Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* Dur. zeichnet sich im Vergleich zu der Art *Avena fatua* L. durch signifikant höhere Überwinterungsraten aus. Dieser mediterrane Winterflughäfer bringt in dem für Flughäfer besonders frostempfindlichen Ontogenesestadium BBCH 23-25 sogar die höchsten Überlebensraten von 21,7 % bei den im Vorwinter geprüften Entwicklungsstadien hervor.

Tab. 4 Überwinterungsraten [%] der *Avena*-Arten (09.04.11) *Avena fatua* L. und *Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* Dur. bei verschiedenen Ontogenesestadien.

Tab. 4 *Overwinter survival [%] of Avena-species (09.04.11) Avena fatua L. and Avena sterilis L. ssp. ludoviciana Dur. at different phases of ontogenesis.*

Avena-Arten	Überwinterungsraten [%] bei Entwicklungsstadium (BBCH)			
	9-10	11	20-22	23-25
<i>A. fatua</i> L. ¹	0,0	0,7 a	13,1 a	0,5 a
<i>A. sterilis</i> L. ²	0,0	8,6 b	14,8 a	21,7 b

¹ Mittel der Herkünfte ² ssp. *ludoviciana* Dur.; verschiedene Kleinbuchstaben kennzeichnen Signifikanzen (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$) zwischen den Varianten innerhalb der jeweiligen Ontogenesestadien.

4. Diskussion

Die Ergebnisse belegen eindrucksvoll, dass die Flughäferpflanzen im Ontogenesestadium der beginnenden Bestockung (BBCH 20-22) besonders widerstandsfähig gegen Kälteeinwirkung sind und somit unter bestimmten Bedingungen den Winter selbst bei Minusgraden überleben können. Diese Einschätzung trifft sowohl für die sechs Varietäten als auch die Kontrollpflanzen der fünf Herkunftsgebiete zu. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass Flughäferpflanzen in dem morphologischen Entwicklungsstadium BBCH 20-22 durch eine bestimmte „Frosttoleranzfitness“ gekennzeichnet sind.

Im direkten Vergleich der Prüfstadien ist für Flughäfer das Entwicklungsstadium BBCH 23-25

zuverlässig als besonders frostsensibel einzuschätzen. Diese Aussage wird durch die Ergebnisse im Varietäten- und auch im Herkunftvergleich übereinstimmend bestätigt. In diesem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium der Bestockung sind die Flughaferpflanzen sehr blattreich und demzufolge stark wasserhaltig. Sie weisen so eine relativ große Frosteinwirkungsfläche und einen vergleichsweise hohen Wasserbedarf auf. Die zur Deckung der Transpirationsverluste notwendigen Wassermengen können bei gefrorenem Boden oftmals nicht abgesichert werden, so dass die Pflanzen über Winter irreversibel welken und infolge Wassermangels absterben.

Auch im morphologischen Einblattstadium (BBCH 11), in dem die Pflanzen noch nicht genügend entwickelt sind, erweist sich der Flughafers als besonders frostsensibel und wintert zumeist aus. Die totale Auswinterung der *Avena fatua*-Pflanzen der späten Herbstsaat (02.10.10) ist darauf zurückzuführen, dass einerseits die Pflanzen in dem vorwinterlichen Entwicklungsstadium „Koleoptile - erstes Laubblatt“ (BBCH 09-10) noch zu schwach entwickelt sind. Andererseits ist ihre Lebensfähigkeit aber auch durch den witterungsbedingt stark durchnässten Boden im besonderen Maße beeinträchtigt. Die Kontrollpflanzen sind unter diesen Bedingungen besonders frostsensibel und sterben infolge der starken Kahlfröste Mitte März (Abb. 1) ausnahmslos ab. Es sind also verschiedene, sehr komplexe Ursachen, die zur Auswinterung des annualen Flughafers in Abhängigkeit von den einzelnen Entwicklungsstadien im Vorwinter führen. Bei den zu erwartenden milden Wintern ist deshalb bei einem Auflaufen im Herbst mit steigenden Überlebenschancen des Flughafers zu rechnen.

In diesem Zusammenhang dokumentiert das varietätenspezifische Frosttoleranzverhalten der Flughaferpflanzen im Ontogenesestadium BBCH 20-22 eindeutig eine ausgeprägte innerartliche Variabilität dieses Problem-Ackerwildgrases. Im Herkunftvergleich lassen die größeren Überwinterungsraten im Ontogenesestadium BBCH 20-22 der Wischeherkünfte bei den Varietäten *pilosissima* (Giesenslage) und *cinerea* (Wendemark) vermutlich auf ein herkunftsabhängiges Frosttoleranzverhalten von *Avena fatua* L. schließen. Auch die höheren Überwinterungsraten der dominanten Varietät *pilosissima* der Thüringer Herkunft vom Standort Aubitz und die Ergebnisse des Elbauestandortes Pannigkau stützen diese Aussage. Sie erhärten damit tendenziell die Befunde aus dem Versuchsjahr 2008/09 unter annähernd vergleichbaren klimatischen Bedingungen (HOFMANN et al., 2010). Es spiegeln sich somit eindeutig Wechselwirkungen zu den standortspezifischen Entwicklungs- und Abreifebedingungen des Flughafers wider.

Im *Avena*-Artenvergleich (Tab. 4) lassen die signifikant höheren Überwinterungsraten des im Mittelmeergebiet verbreiteten Wildhafers *Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* Dur. in den Prüfstadien BBCH 11, 20-22 und 23-25 auf ein stärkeres Frosttoleranzverhalten dieses Ungrases schließen. Die mediterran verbreitete Wildhaferart *Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* Dur. findet daher unter den Standortverhältnissen des mitteldeutschen Trockengebietes sowohl vegetativ als auch reproduktiv günstige Entwicklungsbedingungen. Die bisher vorliegenden zweijährigen Ergebnisse bestätigen diese Annahme (RABE, 2011).

Mit der Einbürgerung und Etablierung der mediterranen Wildhaferart *Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* Dur. würde ein neuer „kampfstarker“ Konkurrent in den Agrophytozoenosen auftreten und für die landwirtschaftliche Praxis ein neues ackerbauliches Problem entstehen.

Literatur

- BACHTHALER, G., 1970: ACKERUNKRÄUTER UND FELDBAUTECHNIK. UMSCHAU **70**,300-303.
- BÖTTCHER, M., K. FÖRSTER, L. SIEBERT, B. HOFMANN UND O. CHRISTEN, 2009: INTRASPEZIFISCHE VARIABILITÄT DES PFLANZENAUFGANGS VON AVENA FATUA-KARYOPSEN (REIFEJAHR 2008) IM JAHRESVERLAUF 2008/09. MITTEILUNGEN DER GESELLSCHAFT FÜR PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN **21**, 231-232.
- EHWALD, E., 1980: BODENKARTIERUNG UND BODENSCHÄTZUNG. IN: MÜLLER, G. (FEDERFÜHRUNG), 1980: BODENKUNDE., PP. 354-361. 1. AUFLAGE. VEB LANDWIRTSCHAFTSVERLAG, BERLIN.
- HOFMANN, B., S. RABE, W. ILSE, L. SIEBERT UND O. CHRISTEN, 2010: ÜBERWINTERUNG VON FLUGHAFERPFLANZEN IN ABHÄNGIGKEIT VON ONTOGENESESTADIUM, VARIETÄT UND HERKUNFTSGEBIET. BERICHTS DER GESELLSCHAFT FÜR PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN **5**, 31-34.

- MEIER, U. UND H. BLEIHOLDER, 2006. BBCH SKALA – PHÄNOLOGISCHE ENTWICKLUNGSSTADIEN WICHTIGER LANDWIRTSCHAFTLICHER KULTUREN, EINSCHLIEßLICH BLATTGEMÜSE UND UNKRÄUTER. AGRIMEDIA GMBH BERGEN/DUMME.
- PRANTE, G., 1971: EIN BEITRAG ZUR SYSTEMATIK DES FLUGHAFERS (*AVENA FATUA* L.). ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **78**, 675-694.
- RABE, S., 2011: ANREICHERUNG VON SPELZFRÜCHTEN IM ACKERBODEN DURCH ÜBERWINTERTE FLUGHAFERPFANZEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON ENTWICKLUNGSSTADIUM, VARIETÄT UND HERKUNFT. MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG, ALLGEMEINER PFLANZENBAU/ÖKOLOGISCHER LANDBAU, MASTERARBEIT.
- ZWERGER, P. UND H.U. AMMON (EDS.), 2002: UNKRAUT – ÖKOLOGIE UND BEKÄMPFUNG. FIRST EDITION. ULMER, STUTTGART.

The impact of the new energy crop sorghum on the weed flora

Einfluss des Anbaus von Sorghumhirsen als Energiepflanzen auf die Beikrautflora

Michael Glemnitz* & Johannes Hufnagel

Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung Müncheberg, Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, Germany

*Corresponding author, mglemnitz@zalf.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.084

Summary

Sorghum is one of the most promising new options for the diversification of land use and for the replacement of maize in energy cropping systems. In on-farm experiments in three different regions of Germany (Thuringian Basin, East Brandenburg and the Lake District of Mecklenburg) between 2008 and 2010, we investigated if and how the cultivation of sorghum affects weed abundances and biodiversity aspects under real farming conditions. Energy maize was used as reference crop for the comparisons with sorghum. Special regard was given to test the hypothesis that differences in the weed flora between both crops can be explained by structural and temporal characteristics of the crop stands.

In the field experiments, we found crop stands of sorghum and maize to have varying temporal (sowing time, growth dynamism) and structural traits (crop stands height and coverage). Hence, although sorghum shows a growth habit similar to that of maize, it is differing mainly in: i) the at least 3-4 week delayed sowing time, ii) a slow development during early growth stages, iii) a higher crop stand density and more intense shadowing at the end of the growing period.

According to these particularities, we found sorghum to be very sensitive to early weed infestations. The height of early weed infestation level were in dependence of the weather conditions. The weed flora (species richness and species composition) in sorghum did not differ much from that of maize. Species composition was mainly affected by the modified sowing time. The weed species composition of the later sown sorghum differed mainly in the dominance of single weed species and the share of different ecological groups. Late summer or whole year germinating weed species like e.g. species of the *Polygonaceae* family may benefit specifically while *Asteraceae* species tend to be restricted.

Keywords: Crop stand architecture, crop stand dynamism, fidelity index, general linear model, maize

Zusammenfassung

Sorghumhirsen gelten als vielversprechende Alternative zur Diversifizierung des landwirtschaftlichen Anbaus und für den parteillen Ersatz von Mais im Energiepflanzenanbau. Die Konsequenzen, die sich aus dem Anbau von Sorghumhirsen für die Beikrautregulation und Biodiversitätsaspekte unter Praxisbedingungen ergeben, waren Gegenstand von dreijährigen Felduntersuchungen in drei, naturräumlich unterschiedlichen Regionen in Deutschland (Thüringer Becken, Ost-Brandenburg und Mecklenburger Seenplatte). Mais wurde für die Erhebungen als Referenzkultur genutzt. Für die Analyse der Kulturarteneffekte wurde von der Hypothese ausgegangen, dass die Unterschiede in der Beikrautflora beider Kulturarten durch zeitliche und strukturelle Merkmale der Kulturpflanzenbestände erklärt werden können.

Im Ergebnis der unserer Felduntersuchungen konnte aufgezeigt werden, dass zwischen den von Sorghumhirsen und Mais gebildeten Kulturpflanzenbeständen deutliche entwicklungs-dynamische und strukturelle Unterschiede bestehen. Die Bestandesentwicklung von Sorghumhirsen unterscheidet sich vom Mais vor allem in folgenden Eigenschaften: i.) einer um mindestens 3-4 Wochen späteren Aussaat, ii.) einer langsameren Jugendentwicklung, iii.) einem dichteren Bestand und einer höheren Beschattung gegen Ende der Vegetationsperiode.

Auf Grund dieser Besonderheiten zeigten sich Sorghumhirsen anfälliger für Frühverunkrautungen, deren Auftreten jedoch eine starke Witterungsabhängigkeit aufwies. Die Artenzahlen und Zusammensetzung der Beikräuter unterschieden sich zwischen Sorghumhirsen und Mais nicht wesentlich. Die Artenzusammensetzung variierte vor allem in Abhängigkeit vom Saattermin. Vor allem spät oder ganzjährig keimfähige Arten u.a. der Familie *Polygonaceae* können von der späten Aussaat profitieren, während z.B. Vertreter der *Asteraceae* abnehmende Tendenzen zeigten.

Stichwörter: Allgemeines lineares Modell, Bestandesarchitektur, Bestandesdynamik, Mais, Treueindex

1. Introduction

The strong increase in the area grown with maize in Germany during the last years was attributed to the promotion of energy cropping systems. The one-sided focus on maize as the main crop for energy cropping lead to serious public criticism and protests and is to some extent questioning the sustainability of energy cropping systems (NABU, 2010; BN, 2010). The reasons for farmers to focus on maize are apparent: The high biomass yield, the high water and nutrient efficiency of maize and in the end the whole economic benefit of maize growing is respectively higher, partly with great differences, compared to that of most alternative traditional crops used for energy production (FNR, 2011). Due to low quality requirements, energy cropping provides many options for the introduction of new crops or intercrops into agricultural practice thereby diversifying cropping systems. The success of the introduction of new crops is highly dependent on their yield potential, yield stability and cost:benefit ratio. Sorghum crops are one of the promising new options in energy cropping systems. Sorghum millets are well adapted to the European climate. In ancient times and in the Middle Ages, they have been widely grown all over Europe. As a C_4 -plant, its nutrient and water efficiency as well as drought resistance are high. In contrast to maize, sorghum plants are stocking with 4-6 stems per plant and can reach higher final plant stand heights. The very low specific requirements for soil quality or for the position in the crop rotation make a cultivation of sorghum species possible in most of the agricultural regions of Germany. Last but not least the current absence of specific epidemic plant diseases and pests promises agricultural benefits for the sequential replacement of maize with sorghum crops (KALTSCHMITT et al., 2009).

Little is known about the consequences of sorghum cultivation on the composition of the weed flora and other ecological effects in the temperate climates. Not only in the growth habit but also in the growing period and crop stand architecture there are many similarities but also dissimilarities compared to maize crop stands. The real potential of sorghum to provide more diversity and phytosanitary benefits to maize-oriented crop rotations under middle European conditions is unclear until today.

The agricultural, ecological and economic effects of various alternative energy crops, among them sorghum millets, are the subject of a series of plot and field trials within the research project "Site-adapted Cropping Systems for Energy Crops" (EVA). The project is aiming to identify the optimal strategy for an economically successful and environmentally sound production of energy crops and to search for suitable agricultural alternatives to the dominant cultivation of maize. The aim of the present study was to compare the effects of sorghum on weed cover and species composition in comparison to maize.

2. Materials and Methods

2.1 Experimental Setup

In order to integrate varying environmental conditions into the experimental design, field experiments were carried out on farms in three different geomorphological and bioclimatic regions of Germany: The Lake District of Mecklenburg (LDM), East Brandenburg (EB) and the Thuringian Basin (TB). The site conditions of the regions are described in Table 1. The experiments were conducted between 2008 and 2010 every year at the same farms, except for the LDM region, where sorghum was grown only in 2009 and 2010. The fields for the comparison between maize and sorghum have been selected with regard to the following criteria: Minimum field size of 4 ha, no external disturbing effects (distance to roads and settlements), typical climate situation, soil conditions and cropping situation typical for the region (pre-crops, soil tillage), to be located close to each other, to be located in the neighborhood of the experimental fields from the previous years. The typical farming practices are shown in Table 2. Fertilization was mainly based on the application of biogas slurry at 15-25 m³/ha, supplemented with mineral fertilizers. The crop rotations in the LDM region were dominated by winter rye. In the EB region, crop rotations had a maize percentage of 25-50 % alternated with triticale, oilseed rape and winter rye. In the TB region, crop rotations were characterized by oilseed rape and sugar beets, and a cultivation of maize or sorghum only every 3-4

years. Most of the maize and sorghum crops were sown after winter cereals harvested as green biomass for biogas. Normally, one post-emergent herbicide application was applied in both crops by using the same active ingredients, but differing in application time due to differences in crop developments (see discussion).

Tab. 1 Description of the site conditions at the farms participating in the investigations.

Tab. 1 *Beschreibung der Standortbedingungen der im Untersuchungsprogramm beteiligten Betriebe.*

Parameter	Region		
	LDM	EB	TB
Location name	Groß Bäbelin	Herzfelde	Körner
Average temperature	8,4 °C	8,7 °C	9,2 °C
Annual precipitation	548 mm	541 mm	583 mm
Pre-dominantsoil type	Sand	Sand-loamy Sand	Heavy loam
Elevation	50 m	35 m	220-250 m
Soil value number	23-25	25-35	62-70

2.2 Data collection and analysis

Crop stand cover and height, overall weed cover and cover of every single weed species was determined at least four times per year with 10 replicates per date, all after the herbicide application. The plots for the weed surveys were located in the middle of the field, at least 70 m inside from the field margin following a line transect. The size of the plots was 1 m². Coverage was estimated using a modified Braun-Blanquet scale with many intermediate values. We followed the taxonomy of WISSKIRCHEN and HÄUPLER (1998) for German vascular plants and used the EPPO-Code for tables and figures. The statistical analysis focused on the maize-crop comparison for every region separately. Except the GLM, variation between the regions was not considered.

Tab. 2 Description of farming practice and land use measures on the investigated fields.

Tab. 2 *Beschreibung der Anbauverfahren und Betriebstypen für die Untersuchungsflächen.*

Location name	LDM		EB		TB	
	Groß Bäbelin		Herzfelde		Körner	
Farm type	Cash crop - integrated		Cash crop - integrated		Mixed - integrated	
Crop	Sorghum x. sudanense	Maize	Sorghum x. sudanense	Maize	Sorghum bicolor	Maize
Soil tillage	Disc harrow	Rotary tiller	Cultivator	Cultivator	Plough	Plough or Grubber
Tillage depth	12 cm	15 cm	18 cm	18 cm	15 cm	15-20 cm
Pre-crop	Rye	Rye	Rye	Rye	Barley	Rye
Sowing date	24-26.06.	28-30.05.	13.06*/11.05.	20-25.04.	17-20.06.	06-10.05.
Fertilization	liquid	liquid	min./liquid	liquid	liquid	liquid
Herbicide	1x	1x	1-2x	1-2x	1x	1x
Herbicide name	Click/ Buctril	Click/ Buctril	Gardo Gold	Gardo Gold/ Clio TP	n.k.	n.k.

*only 2008, n.k. name is not known

The normality of the data was tested with the Kolmogorov-Smirnov-test. To reach normality, the data was transformed and standardized. We used the General Linear Model (GLM; SPSS 16.0) as a tool for Univariate Variances Analysis in order to test the effects and interactions of the main testing factors: Region (R) and crop type (C) against interaction with the random factor year (Y) which was regarded as aggregated variation in weather and location. Correlation analyses were conducted to identify the

interactions between crop stand coverage and overall weed coverage. Correlation was tested with Pearson and Spearman-Rho coefficient in parallel. The impacts of the crops on weed species composition were tested with Canonical Correspondence Analysis (CCA) using the software package CANOCO. For validity reasons only species with an overall frequency greater than 10 % have been included in this analysis. The relative promotion of single weeds by either maize or sorghum was tested by using fidelity indexes as a typical measure in ecologic vegetation analyses (CHYTRY et al., 2002).

3. Results

3.1 Temporal crop stand development and overall weed abundance

Due to higher temperature requirements during germination, sorghum is often sown later than maize, mostly in a double crop system after late harvested winter cereals. This is a distinguishing feature of energy cropping systems compared to traditional maize cultivation. Figure 1 shows the results from the field experiments at the different investigational regions. Despite of huge yearly variation it is still visible that the early development of sorghum was quite slow until the middle of July. After this period, the biomass increase of sorghum was faster than that of maize and the sorghum plants reached closer and higher crop stands compared to maize at the end of vegetation periode. In 2008, sorghum reached the crop stand densities of maize not before August. As a consequence, the dry matter content of the sorghum biomass was insufficiently low at harvest.

The average weed abundance over the three years (Fig. 1 right side) showed high differences. Except of the MLD Region, weediness in Sorghum showed the highest variation. The explanations for this finding are given in Table 3 and Figures 2 and 3. The statistical general linear model resulted in the variance explained by the different factors as shown in Table 3. Regarding the main experimental factors region (R), crop type (C) and year (Y), there was no significant effect on total weed abundances. For all three main factors, the variance within the groups was much higher as between the groups. That means that no general statistically provable single effect for the two crops was found. The crop effects became significant when considering the interactions between the factors. All three interactions were significant. The crop effect was influenced by weather (year) and site conditions (region). The reason for this relationship becomes obvious when comparing the yearly variation in total weed abundances with the weather conditions (Fig. 2 and 3). Figure 2 clearly shows that the trends within the years were similar in all regions but that trends between years were changing. While in 2008, maize had higher weed cover, the total weed cover in 2010 in sorghum was much higher compared to weediness of maize. In 2009, there were no visible differences between the two crops. The year effects are related to weather conditions during the very sensitive period of seed germination and early growth. Year 2008 was characterized by a warm spring with some deficits in the amount of rainfall more or less in all three regions (Fig. 3). In 2010, especially the period around sowing was cold and cloudy with normal rainfall. In 2010, crop coverage of sorghum was significant lower compared to maize till the 200th calendar day whereas the total weed cover was significant higher.

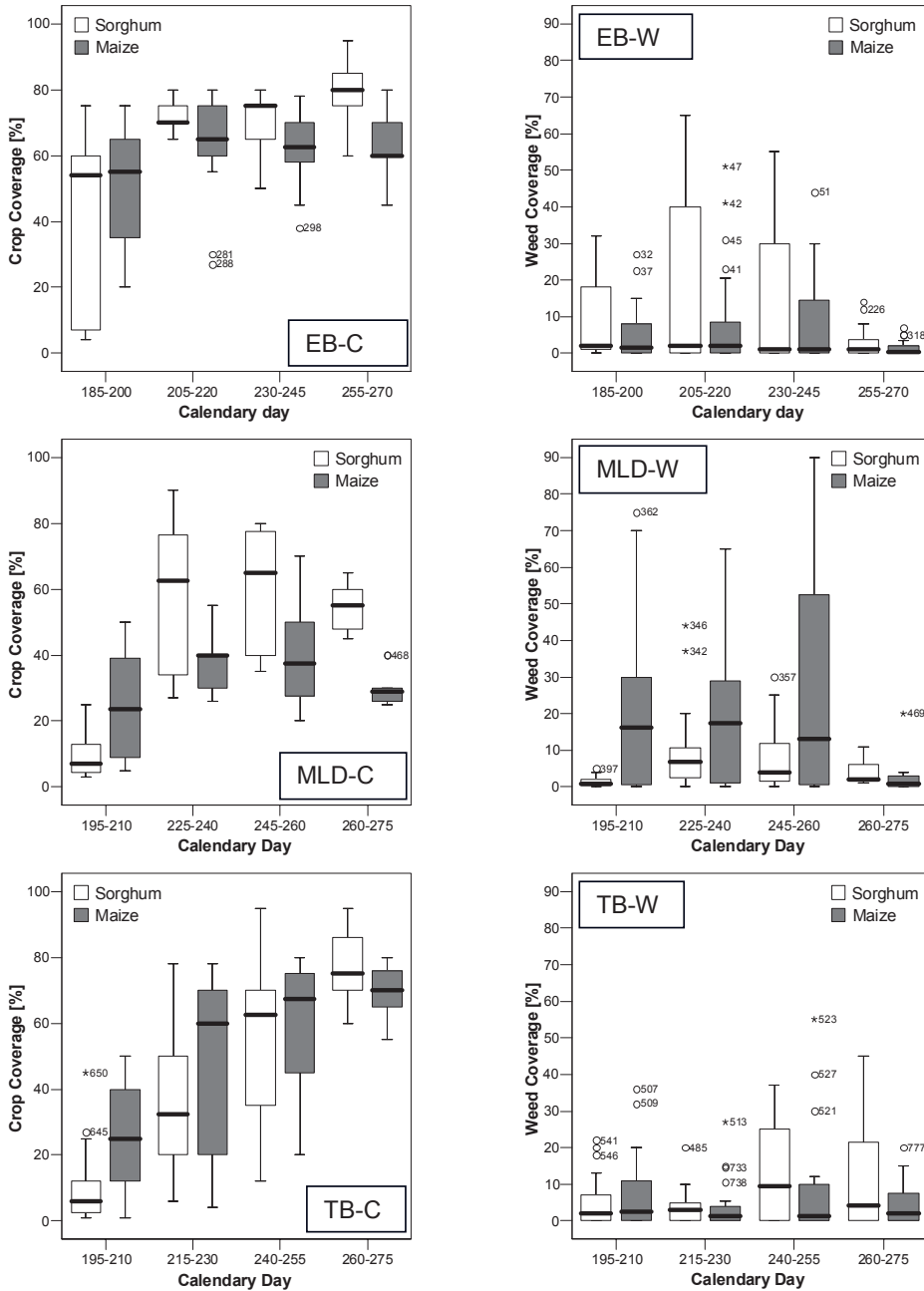


Fig. 1 Differences in crop (C) and weed (W) coverage between Sorghum and Maize over time at the three investigational regions (Average from 10 replications and three investigational years).

Abb. 1 Unterschiede in der Bedeckung durch die Kultur (C) und Beikraut (W) zwischen Hirsen und Mais über die Vegetationsperiode (Mittelwerte über jeweils 10 Wiederholungen und drei Untersuchungsjahre).

Tab. 3 Statistical parameters of the factors influencing total weed coverage together with the size of their partial variance explanation (eta-value) (output of the General Linear Model; GLM).

Tab. 3 Ergebnistabelle des General Linear Models (GLM) für den Gesamt-Beikrautdeckungsgrad zur Charakterisierung der Varianzquellen und der partiellen Beiträge (Eta) der Prüffaktoren.

Source	Type III Sum of Squares	df	F	Sig.	Partial Eta Squared
Constant term	1501062.1	1	298.8	0.034	0.997
Region (R)	22127.8	2	0.928	0.485	0.381
Crop (C)	2088.2	1	1.214	0.385	0.376
Year (Y)	6740.2	2	0.228	0.808	0.124
Interaction R * C	3735.2	2	6.982	0.001**	0.018
Interaction R * Y	26044.8	3	48.642	0.000**	0.163
Interaction C * Y	1731.7	2	3.234	0.040**	0.009
Error	535.4	747			

(df – degrees of freedom; F - F-value; Sig. – Significance level)

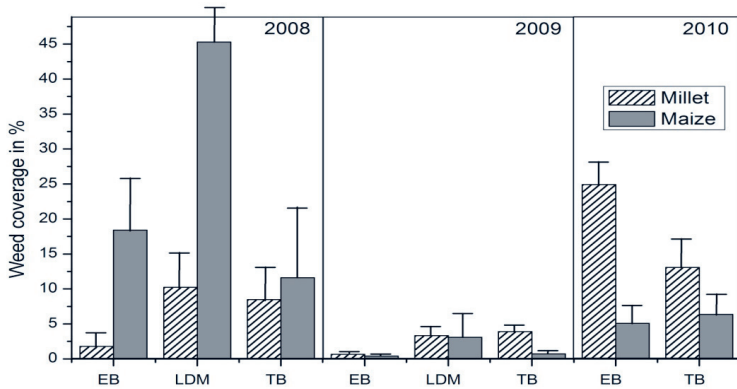


Fig. 2 Average weed coverage in maize and sorghum millets in the three experimental years (4-7 investigation dates per year).

Abb. 2 Mittlere Beikrautdeckung in Mais und Sorghumhirse in den drei Versuchsjahren (jeweils 4-7 Boniturtermine je Jahr).

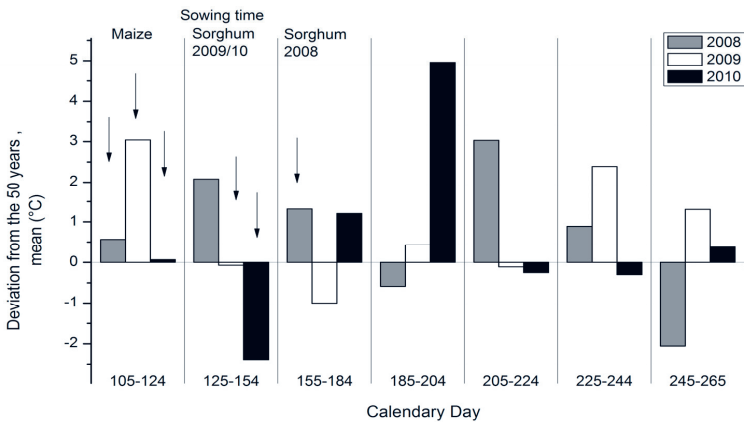


Fig. 3 Deviation from the averaged daily annual temperature from the last 50 years mean (zero line) at East Brandenburg (EB) in the years 2008-2010 (averaged daily temperature).

Abb. 3 Abweichung der gemittelten Tagestemperatur vom 50-jährigen Mittel in der Untersuchungsregion Ost-Brandenburg (EB) in den Jahren 2008-2010.

The results from the correlation analysis between crop and total weed coverage showed that no significant correlation could be found for the two factors in the TB region and in the year 2009 in all regions, respectively. In the regions EB and LDM, competition between crop and weeds started only around calendar day 225-240 and significant correlations could be found only when the longitudinal growth of the crop stands started.

3.2 Effects on species composition

As result of our surveys, we could not detect any significant difference in species number between sorghum and maize. Annual species number varied in both crops between 4 and 20 (maize) respectively 5 and 22 species (sorghum). Variance explanation in species composition regarding the crop type was 5.1 % in EB region, 17.5 % in LDM region and 5.4 % in TB region as found in the Canonical Correspondence Analysis (CCA). During the whole experimental period, only one or two species were found which showed a high relation (fidelity) to only one of the two crop types, sorghum or maize. The species fidelity varied among the regions (Tab. 4).

Tab. 4 Result table for the fidelity indices expressing the close relationship between high abundances of certain species and the tested crops (species with Phi-Values > 0.2).

Tab. 4 *Ergebnistabelle für die Berechnung des Treue-Index als Ausdruck der Förderung hoher Abundanzen einzelner Arten durch die geprüften Fruchtarten (Arten mit Phi-Werten > 0.2).*

EB region		LDM region		TB region	
Sorghum	Maize	Sorghum	Maize	Sorghum	Maize
CHEAL	AGRRE	POLCO	CHEAL	THLAR	BRSNN
SSYAL		HORVX		HORVX	POLPE

Abbreviations are EPPO-codes for weed species, exemplarily: POLPE - *Polygonum persicaria*, SSYAL – *Sysimbrium altissimum*; AGRRE – *Elymus repens*; CHEAL – *Chenopodium album*, for more see: <http://de.wikipedia.org/wiki/EPPO-Code>

Taking into account the findings for the overall weed cover, it is reasonable to assume that similar to weed abundance, species composition was also influenced by weather variation and different sowing time. Calculating the impact of these factors on several ecological groups of the weed flora with GLM showed that variation in yearly temperature had some impact on the coverage of species from the families *Brassicaceae*, *Poaceae* and *Polygonaceae*. Sowing date impacted the abundance of the late summer annual species (increasing), the typical noxious maize weeds (increasing) and species from the *Asteraceae* family (decreasing – but not significantly).

4. Discussion

The field surveys under on-farm conditions showed an overarching impact of the weather conditions in the period from the sowing date until the beginning of the longitudinal growth for both crops. This has already been reported from an agronomic point of view for sorghum (Tfz, 2007). Maize seemed to be more sensitive to drought at early development stages (as observed in 2008). Sorghum in contrast was more sensitive to temperature than water availability (results of 2010). The most important tool of farmers for influencing growth processes of the two crop species is the choice of the appropriate sowing time. Since the optimal sowing time for sorghum will vary between regions and actual year, there is a great uncertainty among farmers.

Due to the higher temperature demands, the germination of sorghum is slow and its early growth requires a longer time compared to maize. In our investigations, the development of sorghum stands achieved the level of maize stands not before the mid of July. The consequence of this was a higher sensitivity to other external effects (e.g. weather) that may promote weed growth and spread. In the experimental year 2010, the cold temperatures in May delayed sorghum germination and growth but not the germination and growth of the weeds. This is contrary to reports from the warmer climates of Africa and America where sorghum is regarded as highly competitive against weeds and shows positive sanitary effects on crop rotations (EINHELLIG and RASMUSSEN, 1989). GEHRING and THYSSEN (2011) reported on damages of sorghum crops caused by herbicides in constellations of limited crop

development due to low temperatures. Sorghum crops are at least partly sensitive to herbicide agents before reaching the three-leaf development stage (Tfz, 2007). Another drawback for sorghum in this relation is the limited herbicide spectrum available for this crop actually in Germany. Only five herbicides (typical maize herbicides) are registered for the application in sorghum (GEHRING and THYSSEN, 2011). The delayed application date of these agents together with higher temperatures may also influence the herbicide efficiency.

Crop stand densities of sorghum and maize have a temporarily limited influence on weed abundance. As shown by our statistical analyses, significant correlations between crop and total weed cover could be found from calendar day 225-240 on and in case of serious preliminary weed coverage. The time span before this period is defined as the critical stage for weed control. According to KNEZEVIC et al. (2002) we found the weed management at this stage to be crucial for the final weed cover and the crop stand densities. This is in accordance with findings of PAOLINI et al. (1998) for other crops. The more intensive growth of sorghum at later time may reduce weediness partly but not change the general trends.

Our results indicate that there was only limited variation (5-17.5 %) in species composition of the weed flora attributed to the kind of crop species: Sorghum and maize. Moreover, the interaction with sowing date has to be taken into account. Since most of the established weeds in Central Europe are adapted to winter cereals or early summer crops, some of them will not be able to germinate and reproduce in late sown crops. According to this, effects of sorghum on weed flora diversification will be very low or even negative. The set of our experimental farms was too small to draw general trends regarding selective effects of the late sowing dates on sorghum growth. Only some first trends can be presented as basis for discussion. The abundance of species from the *Asteraceae* family decreased in our dataset with late sowing dates, while the abundances e.g. of the *Polygonaceae* species and other species germinating all over the year seem to be unaffected.

Acknowledgements

We thank the technicians Cornelia Fischer, Monika Röhl and Edelgunde Jerusel for their high engagement in running the field trials and data base. This project is part of the research project "Development and Comparison of Optimised Cropping Systems for Agricultural Production of Energy Crops under Different Site Conditions in Germany" (EVA). The financial support by the Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) through the Agency of Renewable Resources (FNR e.V.) is greatly acknowledged.

References

- BUND NATURSCHUTZ IN BAYERN (BN), 2010: KEINE WEITERE „VERMAISUNG“ DER LANDSCHAFT FÜR BIOGASANLAGEN IM INTERNATIONALEN JAHR DER BIOLOGISCHEN VIELFALT. PRESSEMITTEILUNG 29/10. EIGENVERLAG. WWW.BUND-NATURSCHUTZ.DE.
- CHYTRY, M., L. TICHY, J. HOLT AND Z. BOTTA-DUKAT, 2002: DETERMINATION OF DIAGNOSTIC SPECIES WITH STATISTICAL FIDELITY MEASURES. JOURNAL OF VEGETATION SCIENCE **13**, 79-90.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR LANDSCHAFTSPFLEGE (DVL) E.V. & NATURSCHUTZBUND NABU, 2007: BIOENERGIE? – ABER NATÜRLICH! NACHWACHSENDE ROHSTOFFE AUS SICHT DES UMWELT- UND NATURSCHUTZES. HEFT 12 DER DVL-SCHRIFTENREIHE „LANDSCHAFT ALS LEBENSRAUM“. EIGENVERLAG.
- EINHELLIG, F.A. AND J.A. RASMUSSEN, 1989: PRIOR CROPPING WITH GRAIN SORGHUM INHIBITS WEEDS. JOURNAL OF CHEMICAL ECOLOGY **15**, 951-960.
- FACHAGENTUR FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR), 2010: STANDORTANGEPASSTE ANBAUSYSTEME FÜR ENERGIEPFLANZEN. EIGENVERLAG, FNR-BESTELLNUMMER: 335.
- GEHRING, K. AND S. THYSSEN, 2011: UNKRAUTBEKÄMPFUNG IN SORGHUM-HIRSEN. BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL), WWW.LFL.BAYERN.DE/IPS/LANDWIRTSCHAFT (APRIL 2011).
- KALTSCHMITT, M., H. HARTMANN AND H. HOFBAUER, 2009: ENERGIE AUS BIOMASSE. GRUNDLAGEN, TECHNIKEN UND VERFAHREN. SPRINGER HEIDELBERG, DORDRECHT, LONDON, NEW YORK.
- KNEZEVIC, S.Z., S.P. EVANS, E.E. BLANKENSHIP, R.C. VAN ACKER AND J.L. LINDQUIST, 2002: CRITICAL PERIOD FOR WEED CONTROL: THE CONCEPT AND DATA ANALYSIS. WEED SCIENCE **50**, 773-786.

- PAOLINI, R., S. DEL PUGLIA, M. PRINCIPI, O. BARCELLONA AND E. RICCARDI, 1998: COMPETITION BETWEEN SAFFLOWER AND WEEDS AS INFLUENCED BY CROP GENOTYPE AND SOWING TIME. *WEED RESEARCH* **38**, 247-255.
- TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM STRAUBING (TFZ), 2007: ANBAUHINWEISE SORGHUM-HIRSEN (*SORGHUM BICOLOR*, *SORGHUM SUDANENSE*, *S. BICOLOR* X *S. SUDANENSE*) FÜR DIE VERWENDUNG IN BIOGASANLAGEN. EIGENVERLAG, AUSGABE 08/07.
- WISSKIRCHEN, R. AND H. HAEUPLER, 1998: STANDARDLISTE DER FARN- UND BLÜTENPFLANZEN DEUTSCHLANDS. ULMER, STUTTGART, GERMANY.

Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management – Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002–2004

Composition of weed populations in maize as a function of plant or crop management: Results of a nation-wide survey in Germany conducted from 2002 to 2004

Friederike de Mol^{1*}, Christoph von Redwitz¹, Martin Schulte² & Bärbel Gerowitt¹

¹Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftl. Fakultät, Phytomedizin, Satower Str. 48, D-18051 Rostock

²Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, D-63477 Maintal

*Korrespondierender Autor, friederike.de-mol@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.085

Zusammenfassung

Aus einem deutschlandweiten Monitoring zum Unkrautbesatz in Maisfeldern wurden Datensätze von 1103 Schlägen analysiert, für die neben den Unkrauterfassungen Angaben von den bewirtschaftenden Landwirten zum pflanzenbaulichen Management und zu Standorteigenschaften vorlagen. Ziel war es, das gemeinsame Vorkommen von Unkräutern zu beschreiben und den Einfluss des pflanzenbaulichen Managements aufzuzeigen.

Unkräuter wurden in Quadraten von 0.1 m² mit zehnfacher Wiederholung im frühen Entwicklungsstadium des Mais (2-6 Blätter) vor der Herbizidanwendung gezählt. Die Schläge lagen in ganz Deutschland, aber schwerpunktmäßig in Regionen mit einer hohen Maisanbaudichte.

Die Unkrautzusammensetzung wurde dargestellt mit einer Korrespondenzanalyse und einer Partiellen Kanonischen Korrespondenzanalyse, in die Effekte der geografischen Lage, des Klimas, des Bodens und der Jahreseinfluss als Kondition eingingen. Als unabhängige pflanzenbauliche Parameter wurden die Bodenbearbeitung („wendend“ oder „nicht-wendend“), die Fruchtfolge (Maisanteil sowie Rapsanteil in der Fruchtfolge, Mais als Vor- und/oder Vorfrucht), die Dichte des Maises und die Gülledüngung („ja“ oder „nein“) betrachtet. Die Nettoeffekte dieser Ackerbaumaßnahmen wurden mit einem Permutationstest untersucht, sie erwiesen sich alle als signifikant ($p < 0.05$).

Der Zusammenhang zwischen Unkrautvorkommen und Herbizideinsatz wurde an einem Teildatensatz (200 Schläge, 17 Maisunkrautarten) analysiert. Dazu wurde die potentielle Bekämpfungintensität auf Maisunkräuter aus den Wirkungsangaben von Beratungsunterlagen abgeleitet. Der Manteltest ergab einen Zusammenhang zwischen den jeweiligen Distanzmatrizen von $r_M = 0.21$ ($p = 0.04$). Zur Visualisierung des Zusammenhangs wurden getrennte Korrespondenzanalysen für Unkrautvorkommen und Herbizideinsatz gerechnet, und die ersten beiden Achsen durch Prokrustes-Analyse ineinander überführt. Ein Prokrustes-Test ergab einen Zusammenhang von 0.42 ($p = 0.11$) zwischen Unkrautzusammensetzung und dem durch die potentielle Bekämpfungintensität charakterisierten Herbizideinsatz.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass Landwirte insbesondere über die Fruchtfolge die Unkrautzusammensetzung beeinflussen können.

Stichwörter: Herbizideffekt, Multivariate Statistik, Ordination, Pflanzenbau, Unkrautvegetation

Summary

Data sets, comprising information on weed densities of 1103 maize fields in Germany as well as their crop management practices and site-specific characteristics, were analysed. The objectives were to describe the joint occurrence of weeds and to assess the influence of crop management on weed species composition.

Per field, weed densities were assessed in ten, 0.1 m² quadrats in young maize (2-6 leaves) before herbicide application. Fields were distributed all over Germany but the emphasis was on regions with high proportions of maize. Weed species composition was described with correspondence analysis and partial canonical correspondence analysis, using geographic location, climate, soil, and year as conditions. Tillage (mouldboard or chisel), crop rotation (proportion of maize and oilseed rape; maize as previous and/or pre-previous crop), maize density and whether or not manure was applied were added as independent crop management parameters. The net effects of these parameters were tested with a permutation test and were proved to be significant ($p < 0.05$).

The relationship between weed density and herbicide use was analysed on a 200 field subset, involving 17 weed species. The potential herbicide use intensity was deduced from the efficacy data of advice papers. There was a significant relationship between the respective distance-matrices ($r_M = 0.21$; $p = 0.04$). To visualize this relationship, separate correspondence analyses were conducted on weed incidence and theoretical herbicide effects, and a Procrustes analysis was performed. A Procrustes test indicated a correlation of 0.42 ($p = 0.11$) between weed assembly and herbicide use, which was characterized by the theoretical herbicide-weed-efficacy. Consequently, in particular with crop rotations farmers seems to have a powerful tool to influence weed species composition.

Keywords: Crop management, herbicide effects, multivariate statistics, ordination, weed vegetation

1. Einleitung

Mais gewinnt als Ackerbaukultur in Deutschland zunehmend an Bedeutung, nicht nur in klassischem Einsatz als Ackerfutter für Wiederkäuer, sondern auch in Ackerbauregionen als Biogassubstrat. Dazu trägt bei, dass Mais eine Vereinfachung von Fruchtfolgen erlaubt und dass Züchtungsfortschritte, eventuell in Verbindung mit Klimaänderungen, zu höheren Maiserträgen auch in gemäßigt-kühlen Regionen führten.

Aus phytomedizinischer Sicht sind Unkräuter im Mais in Deutschland stärker ertrags- und gewinnrelevant als Pilz- oder Insektenbefall. Die Pflanzenschutzmaßnahmen im Mais beschränken sich daher nahezu auf Herbizide.

Pflanzenschutzmittelindustrie, Berater und Landwirte haben ein Interesse, Unkrautvorkommen und die Entwicklung der Unkrautzusammensetzung über die Jahre zu verfolgen, um problematische Entwicklungen im Unkraut- und Herbizidbereich wie z. B. Resistenzen oder Wirkungslücken, frühzeitig zu erkennen. Pflanzenbauliche Maßnahmen können als mögliche Alternativen erkannt und bewertet werden.

Dieser Artikel zeigt, wie die Verunkrautung auf deutschen Maisäckern zusammengesetzt ist. Die Daten dafür stammen aus einem deutschlandweiten Monitoring auf Maisäckern. Die Unkraut-zählungen wurden von MEHRTENS (2005) und MEHRTENS et al. (2005) mit univariaten Methoden ausgewertet. Im Mittelpunkt dieser Sekundärauswertung steht die Wirkung des pflanzenbaulichen Managements auf die Artengemeinschaft, weshalb hier multivariate Methoden genutzt werden. Mit den umweltgestaltenden ackerbaulichen Parametern werden Größen betrachtet, die der Landwirt selber beeinflussen kann. Außerdem wird untersucht, wie der Herbizideinfluss auf die Artengemeinschaft beschrieben werden kann.

2. Material und Methoden

2.1 Deutschlandweites Monitoring von Unkrautvorkommen in Maisäckern

In den Jahren 2000 bis 2009 wurde ein deutschlandweites Monitoring zum Unkrautbesatz in Maisfeldern durchgeführt. Dabei wurden schwerpunktmäßig Schläge in Regionen mit einer hohen Maisanbaudichte in das Monitoring aufgenommen. In dieser Arbeit wurden Datensätze aus den Jahren 2002 bis 2004 von 1103 Schlägen analysiert, für die neben den Unkrauterfassungen Angaben von den bewirtschaftenden Landwirten zum pflanzenbaulichen Management und zu Standorteigenschaften vorlagen. Für 200 Schläge lagen darüber hinaus Angaben vor, welche Herbizide im Mais in den letzten Jahren bevorzugt eingesetzt wurden.

Die Unkräuter wurden in Quadraten von 0,1 m² mit zehnfacher Wiederholung in frühen Entwicklungsstadien des Maises (2-6 Blätter) vor der Herbizidanwendung gezählt. Die Bestimmung der Unkräuter erfolgte, wenn möglich, auf Artenebene, sonst auf Gattungsebene.

2.2 Statistische Auswertung

Die Auswertung erfolgte mit R, Version 2.13.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009) und dem Paket vegan (OKSANEN et al., 2010).

Unkrautarten und -gattungen wurden mit dem EPPO-Code abgekürzt (EUROPEAN PLANT PROTECTION

ORGANIZATION, 2011).

Die Daten zur Unkrautdichte wurden vor Auswertungen mit Ordinationsverfahren nach dem Verfahren von ANDERSON et al. (2006) mit dem natürlichen Logarithmus transformiert, um den Einfluss sehr hoher Dichtewerte abzuwichten:

$$x_{\text{transformiert}} = \ln(x) + 1 \quad \text{für } x > 0, \quad x_{\text{transformiert}} = 0 \quad \text{für } x = 0.$$

Die Unkrautzusammensetzung wurde auf Grundlage der 1103 Datensätze mit einer Korrespondenzanalyse ausgewertet und grafisch dargestellt. Eine partielle kanonische Korrespondenzanalyse (pCCA) wurde genutzt, um den Einfluss des pflanzenbaulichen Managements (Fruchtfolge, Grundbodenbearbeitung, Saatchichte und Gülleeinsatz) darzustellen. Dabei wurden Effekte der geografischen Lage (Gauss-Krüger-Koordinaten), des Klimas (Temperatur und Niederschlag in der Vegetationsperiode), des Bodens (Sandanteil, Humusanteil und Bodenwertzahl) und der Jahreseinfluss als bedingende Variablen herausgerechnet. Um die Stärke der beeinflussenden Faktoren, die Nettoeffekte, der einzelnen Anbaumaßnahmen zu bestimmen, wurden pCCA unter der Bedingung des übrigen Managements und der Umweltbedingungen gerechnet. Die Nettoeffekte wurden mit einem Permutationsverfahren auf Signifikanz ($p < 0.05$) getestet.

Für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen Herbizideinsatz und Unkrautvorkommen wurde ein eingeschränkter Datensatz von 200 Standorten untersucht, denn nur ein Teil der Landwirte hatte ausreichend detaillierte Angaben zum Herbizideinsatz aufgeführt. Auch wurden Datensätze gestrichen (insbesondere bei Packs mit Handelsbezeichnungen mit Namens-Suffices) die nicht mehr erlaubten, nachzuvollziehen, welches Herbizid genau genutzt wurde. Die Artenauswahl wurde auf die 17 wichtigsten Maisunkräuter begrenzt. Diese wurden pragmatisch nach ihrer Aufzählung in den Herbizidwirkungstabellen der Zeitschrift „Mais“ in den Jahren 2002 bis 2004 ausgewählt (MEINERT, 2002; GEHRING und HOPPE, 2003; MEINERT, 2004). Kreuzkraut und Melde wurden nicht aufgenommen, da nur für wenige Herbizide Wirkungsangaben vorlagen. Zusätzlich wurden *Geranium*-Arten gewählt, die in aktuellen Wirkungstabellen zu Maisherbiziden regelmäßig erwähnt werden. Die Herbizidwirkungen wurden BERGMANN (2009) entnommen. Waren für Herbizide oder Packs dort keine Angaben vorhanden, wurden folgende Quellen in angegebener Reihenfolge genutzt: KLINGENHAGEN (2009), MEINERT (2004), GEHRING und HOPPE (2003), MEINERT (2002), IMGABEN (1998), KLINGENHAGEN (2002), BÖTTGER und KETTEL (2001), KLINGENHAGEN (2000), KOHNEN (2004), KOHNEN (2002). Für die potentielle herbizide Wirkung auf einzelne Arten wurden Wirkungskreuzchen folgendermaßen in Prozentwerte übersetzt:

xxx	→ 99 % Wirkung	x(x)	→ 80 % Wirkung
xx(x)	→ 95 % Wirkung	x	→ 60 % Wirkung
xx	→ 90 % Wirkung	(x)	→ 30 % Wirkung

Waren mehrere Herbizide als „häufig eingesetzt“ angegeben, wurde für jede Unkrautart die höchste angegebene Wirkung gewählt.

Es wurden auf diese Weise zwei Datenmatrizen erstellt, eine mit Unkrautabundanzen an den Standorten, die zweite mit potentiellen Effekten der Herbizide auf die Unkrautarten an denselben Standorten. Der Zusammenhang zwischen den Daten wurde auf zwei Weisen getestet: mit dem Mantel-Test und dem Procrustes-Test nach einer Procrustes-Rotation, wie sie im Paket vegan implementiert sind. Für den Mantel-Test wurden in Bezug auf die Unkrautabundanzen die Bray-Curtis-Distanz, für die Herbizideffekte die Euklidische Distanz gewählt. Die Procrustes-Rotation wurde auf die Ergebnisse von Korrespondenzanalysen angewendet, die für die Unkraut- bzw. die Herbizideffektmatrix getrennt gerechnet worden waren.

3. Ergebnisse

3.1 Vorkommen wichtiger Maisunkräuter und Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen

Unkrautarten treten in Gemeinschaft mit anderen Arten auf. Abb. 1 zeigt, welche Maisunkräuter gehäuft zusammen auftreten: sie liegen in der Grafik relativ nahe beieinander. So kamen

beispielsweise Stiefmütterchen, Kamille-Arten und Geranium-Arten vielfach gemeinsam in höheren Dichten auf Maisäckern vor. Eng mit dieser Gruppe assoziiert sind auch Vogel-Sternmiere und Rispensarten sowie der Vogel-Knöterich. Eine zweite Gruppe bilden Hühnerhirse und Franzosenkraut: hohe Dichten der einen Art weisen meist auch auf hohe Dichten der anderen Art hin.

Mit hoher Stetigkeit sind auf deutschen Maisäckern Weißer Gänsefuß und Quecke zu finden. Ihre Lage in der Mitte der Ordination weist darauf hin, dass keine besondere Assoziation zu anderen Arten besteht. Im Gegensatz dazu stehen Arten, die am Rande des Graphen liegen, wie z.B. Ausfallraps und Amarant, welche die waagerechte Achse aufspannen, und Ackerfuchsschwanz sowie Borsten- und Fingerhirse-Arten, die in den Randbereichen der senkrechten Achse liegen. Das Einjährige Bingelkraut ist nur auf wenigen Äckern, dann aber in hoher Dichte zu finden, und scheint nicht mit anderen Unkräutern assoziiert zu sein.

Arten, die in Abb. 2 nahe zusammen liegen, wurden durch dieselben pflanzenbaulichen Maßnahmen beeinflusst. Dabei wurden der Einfluss von Parametern der geografischen Lage, des Klimas und des Bodens sowie der Jahreseinfluss vorab herausgerechnet. Die Arten kamen nicht zwangsläufig auf denselben Äckern vor.

Wiederum liegen Stiefmütterchen und Kamille-Arten nahe beieinander, waren also nicht nur auf denselben Äckern zu finden, sondern wurden auch durch dasselbe Management gefördert, während Geranium-Arten zwar auf denselben Feldern wuchsen, aber offenbar ein anderes Management bevorzugten; insbesondere traten sie im Mais nicht vermehrt auf, wenn der Raps-Anteil in der Fruchtfolge hoch war.

Das Auftreten von Finger- und Borstenhirsen in Mais wurde durch einen hohen Anteil von Raps in der Rotation gehemmt. Für die Borstenhirsen war zudem Mais als Vorfrucht ein wesentlicher fördernder Faktor, so dass sie nicht unbedingt gehäuft auf denselben Äckern wuchsen (siehe Abb. 1 rechts). Hühnerhirse, Schwarzen Nachtschatten, Amarant- und Franzosenkraut-Arten werden durch denselben Pflanzenbau, insbesondere einen steigenden Maisanteil, gefördert.

Der Einfluss der Fruchtfolge ist von allen untersuchten pflanzenbaulichen Maßnahmen am deutlichsten. Insbesondere die Hirsen und der Schwarze Nachtschatten werden durch maisbetonte Fruchtfolgen gefördert. Dabei ist für Borsten- und Fingerhirsen nicht nur der Maisanteil in der

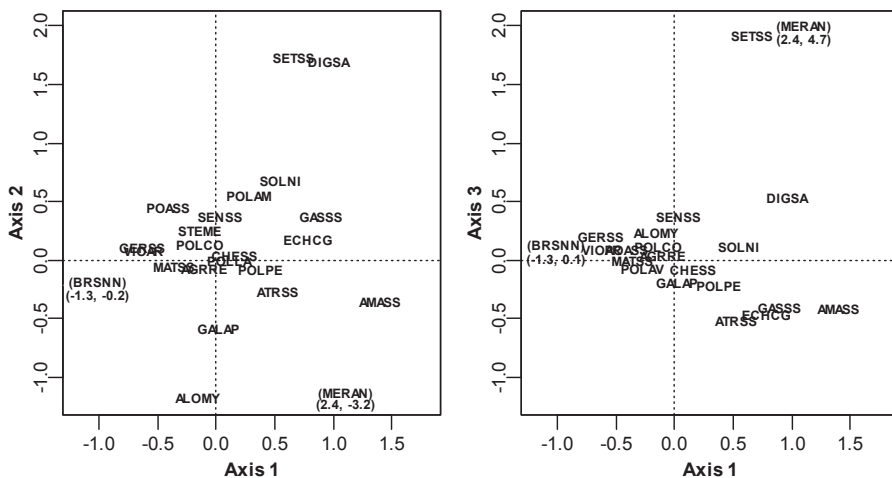


Abb. 1 Auftreten von Maisunkräutern: Ordinationsdiagramm der Korrespondenzanalyse, links 1. und 2. Achse, rechts: 1. und 3. Achse, nur Maisunkräuter sind ausgedruckt, n = 1103.

Fig. 1 Incidence of maize weeds: ordination diagram of the correspondence analysis, left: 1. and 2. axis, right: 1. and 3. axis, only maize weeds are plotted, n = 1103.

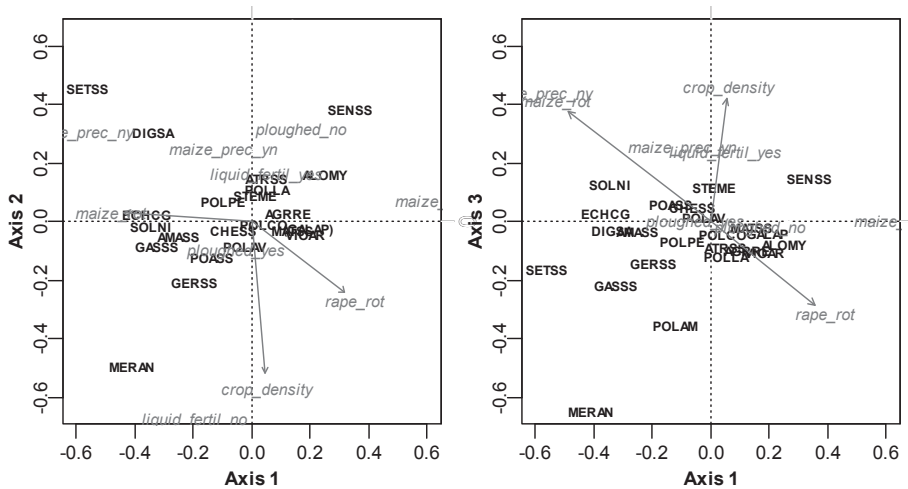


Abb. 2 Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Unkrautflora: Ordinationsdiagramm der partiellen Kanonischen Korrespondenzanalyse, links 1. und 2. Achse, rechts: 1. und 3. Achse, nur einige Maisunkräuter sind ausgedruckt, n = 1103, Managementparameter: Anteil von Mais bzw. Raps in der Fruchtfolge (maize_rot, rape_rot), Pflugeinsatz (plough_yes, plough_no), Maisbestandesdichte (crop_density), Gülleinsatz (liquid_fertil_yes, liquid_fertil_no), Mais in den letzten zwei Jahren: beide Jahre (maize_prec_yy), nur Vorjahr (maize_prec_ny), nur Vorvorjahr (maize_prec_yn), kein Mais (maize_prec_nn).

Fig. 2 Influence of crop management on weed assembly: ordination diagram of the partial canonical correspondence analysis, left: 1. and 2. axis, right: 1. and 3. axis, only some maize weeds are plotted, n = 1103, Managementparameter: percentage maize and OSR in the rotation (maize_rot, rape_rot), tillage (plough_yes, plough_no), mais crop density (crop_density), use of manure (liquid_fertil_yes, liquid_fertil_no), mais in the previous two years (maize_prec_yy), mais in the previous year (maize_prec_ny), mais only in the pre-previous year (maize_prec_yn), no mais in the previous two years (maize_prec_nn).

Fruchtfolge, sondern auch die Vorfrucht Mais von Bedeutung. Demgegenüber werden Stiefmütterchen, Kamille und Klettenlabkraut durch einen steigenden Anteil von Winterraps in der Fruchtfolge gefördert. Noch stärker ist der Ausfallraps als Unkraut mit dem Rapsanteil verbunden.

In Korrespondenzanalysen ist die Inertia, der mittlere quadrierte Kontingenzkoeffizient, ein Maß für die Variation, die im Datensatz auftritt. Der 7,4 % der Inertia entfiel auf die Umweltvariablen und 2,2 % der Inertia wurde durch das pflanzenbauliche Management erklärt.

Als Maß für die Einflussstärke der einzelnen Pflanzenbaumaßnahmen auf die Unkrautgemeinschaft wurden Nettoeffekte errechnet. Alle Managementmaßnahmen hatten einen signifikanten Einfluss (Permutationstests; $p < 0,05$); allerdings lagen alle Nettoeffekte unter 0,8 %.

3.2 Maisherbizide und Maisunkräuter

Für die Korrespondenzanalyse der Artenabundanzen wurde eine Inertia von 2,295 errechnet, für die theoretische Artenbekämpfungsintensität von 0,157 bei derselben Größe der Eingangsmatrizen. Die Variation ist im Datensatz der Artenabundanzen also wesentlich größer.

Es wurde versucht, die Ordination der Zusammensetzung der Unkrautgemeinschaft einerseits und der theoretischen Bekämpfungsintensität andererseits, durch Rotation und Skalierung zu maximal möglicher Deckung zu bekommen. Abb. 3 zeigt mit Hilfe der Pfeile, wie die Anordnung der Häufigkeiten der Maisunkräuter auf die Anordnung der Bekämpfungsintensität abgebildet wird. Die Grafik zeigt, dass die Übereinstimmung der Anordnungen nicht groß ist. Für die Ebene der ersten und zweiten Achse wurde mit dem Prokrustes-Test eine Korrelation von 0,42 ($p = 0,11$) errechnet. Der Mantel-Test ergab eine Mantel-Korrelation r_M von 0,21 ($p = 0,04$).

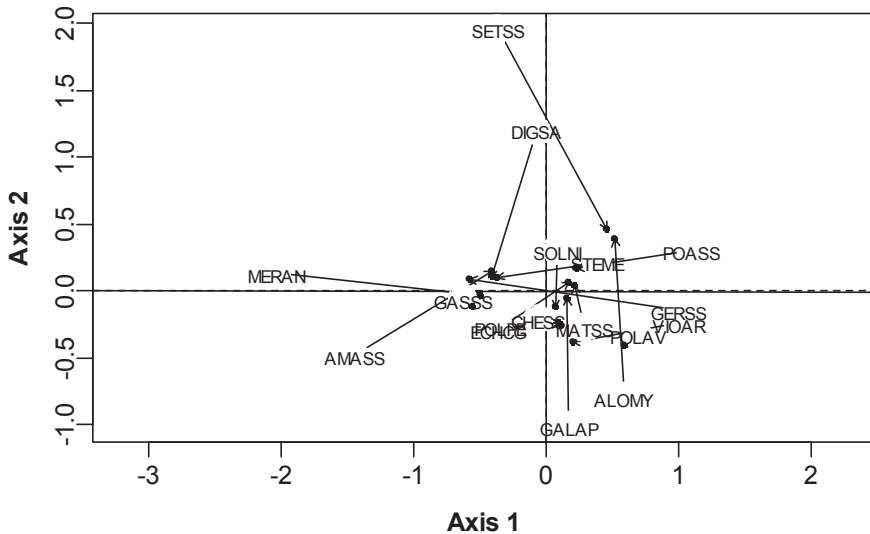


Abb. 3 Korrespondenzanalysen zum Auftreten von Maisunkräutern und zur theoretischen herbiziden Wirkung auf Maisunkräuter. Pfeile zeigen, wie die Procrustes-Rotation die Artenabundanzen auf die theoretischen Bekämpfungserfolge derselben Arten abbildet; 17 Maisunkräuter, n = 200.

Fig. 3 Correspondence analyses of weed incidences and theoretical herbicide effects on weeds. Arrows show, how procrustes-rotation maps weed densities onto the theoretical effect outcome of herbicides of the same species; 17 maize weeds, n = 200.

4. Diskussion

4.1 Vorkommen wichtiger Maisunkräuter und Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen

Die als typische Maisunkräuter ausgewählten Arten gehören, wenn sie nicht unspezifisch auf die Umwelt reagieren, nach HOFMEISTER und GARVE (1986) zu lediglich drei ökologischen Gruppen. Diese sind alle Zeiger für eine gute Stickstoffversorgung. Die auf nahezu allen auf stickstoffreichen Böden zur Vogelmieren-Gruppe verbundenen Arten (STEME, CHEAL, POLPE, SENVU) sind in der Ordination (Abb.1) mittig angeordnet und bestätigen somit die Gruppenbildung für indifferente Arten. Zur Hühnerhirsen-Gruppe, die auf warmen Sand- und Lehmböden mit saurer bis neutraler Bodenreaktion vorkommt, gehören neben ECHCG das GASP und SETSS. Die Gruppierung der ersten beiden Arten wird durch die Ordination bestätigt, während für die Borstenhirsen offenbar andere Standortparameter zusätzlich bedeutsam sind. MERAN, AMARE und SOLNI gehören zur dritten Gruppe, die wiederum auf warmen Böden, aber mit höheren pH-Werten gedeiht. Diese enge Gruppierung lässt sich im Ordinationsgraphen nicht wiederfinden; jedoch liegen letztgenannte Arten nahe den Arten der Hühnerhirsen-Gruppe, so dass die Gruppierung auf leicht erwärmbaren Böden gut erkennbar ist. Die erste Achse der CA repräsentiert diese Wärmebedürftigkeit, während auf der zweiten Achse die Anordnung der Arten nach Bodenansprüchen wie pH-Wert oder Bodenart (ALOMY und GALAP eher auf neutralen, schwereren Böden) geschieht.

Abbildung 2 zeigt anhand der kleineren Achsenskalen, dass durch die partielle Betrachtung ein wesentlicher Anteil der Variation im Datensatz herausgerechnet wird. Die erklärenden Managementvariablen, die mit der ersten Achse korrespondieren, sind Parameter der Fruchtfolge: Anteil an Mais bzw. Raps in der Rotation, sowie als zusätzliche Variable mit eigener Erklärungskraft Mais als Vor- und Vorvorfrucht.

Der pH-Wert des Bodens wird im Allgemeinen als wesentlicher die Pflanzengemeinschaft bestimmender Faktor angesehen. Im Datensatz der bedingenden Umweltvariablen fehlte er, weshalb man bei der Anordnung der Unkrautarten durch die pCCA einen pH-Effekt-Gradienten hätte erwarten

können. Offenbar ist der pH-Wert zu anderen Bodeneigenschaften wie Sand- oder Humusgehalt kollinear, so dass ein eigener Effekt nicht erkennbar ist.

Insgesamt hatten pflanzenbauliche Maßnahmen einen signifikanten, wenn auch geringen, Einfluss auf die Unkrautzusammensetzung. Der erklärte Anteil der Variation liegt in mit knapp 10 % in gleicher Größenordnung wie in der von HANZLIK und GEROWITT (2011) durchgeführten Raps-Monitoringstudie (14 %).

4.2 Maisherbizide und Maisunkräuter

Der Einsatz von Herbiziden unterscheidet sich von den bisher besprochenen ackerbaulichen Maßnahmen dadurch, dass unabhängige und abhängige Variable weniger eindeutig zuzuordnen sind. Wahrscheinlich wird die Herbizidauswahl aufgrund der Artenabundanzen auf dem Schlag getroffen. Es gilt aber wahrscheinlich auch, dass der Einsatz von Herbiziden mit ihren jeweiligen Wirkungsspektren seinerseits die Artenabundanzen beeinflusst. Deshalb wurde hier ein Auswertungsverfahren gewählt, das eine beiderseitige Lesart zulässt. Die Korrelationen weichen deutlich von 0 ab, offenbar ist also ein Zusammenhang erkennbar. Das Ergebnis sollte allerdings vorsichtig interpretiert werden, denn Abbildung 3 zeigt visuell, wie vage die Zusammenhänge sind. Mögliche Gründe werden im Folgenden genannt:

1. Datenerhebung und -auswertung sind nicht optimal: Schläge mit reiner Maisselbfolge lassen höhere Korrelation erwarten. Hier werden nur die pragmatisch gewählten Maisunkräuter betrachtet, aber auch andere Arten könnten die Herbizidauswahl bestimmen und sind sicherlich für die Ordination der Unkrautabundanz bedeutsam. Eventuell ist die Übersetzung der Kreuze aus den Wirkungstabellen in Prozentwerte mit Mängeln behaftet. Die Monitoringfrage „Welche Maisherbizide wurden in den letzten Jahren häufig eingesetzt?“ führt zu vagen Antworten, was den betrachteten Zeitrahmen und die Zahl der angegebenen Herbizide betrifft.
2. Die vagen Zusammenhänge spiegeln die Realität wider: Die Herbizidauswahl bestimmt das Auftreten neben weiteren Umwelt- und Pflanzenbauparametern nur zu einem geringen Teil. Unkräuter werden zunehmend mit Herbizid-Packs bekämpft, deren Ziel es ist, möglichst breit zu wirken. Oder aber eine spezifischere Anwendung von Herbiziden ist generell nicht möglich, da spezifisch wirkende Herbizide nicht auf dem Markt sind.

Literatur

- ANDERSON, M.J., K.E. ELLINGSEN UND B.H. MCARDLE, 2006: MULTIVARIATE DISPERSION AS A MEASURE OF BETA DIVERSITY. *ECOLOGY LETTERS* **9**, 683–693.
- ANDREASEN, C. UND I.B. SKOVGAARD, 2009: CROP AND SOIL FACTORS OF IMPORTANCE FOR THE DISTRIBUTION OF PLANT SPECIES ON ARABLE FIELDS IN DENMARK. *AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT* **133**, 61–67.
- BERGMANN, E., 2009: UNKRAUTBEKÄMPFUNG MIT AKTUELLER HERBIZIDPALETTE. *MAIS* 2/2009, 62–67.
- BÖTTGER, W. UND M. KETTEL, 2001: JUNGER MAIS VERTRÄGT KEINE UNKRAUTKONKURRENZ. *TOP AGRAR* 4/2001, 70–77.
- EUROPEAN PLANT PROTECTION ORGANISATION, 2011: EPPO PLANT PROTECTION THESAURUS (EPPT), [HTTP://EPPT.EPPO.ORG/](http://eppt.eppo.org/), ZUGRIFF AM 18.11.2011.
- GEHRING, K. UND J.-H. HOPPE, 2003: UNKRAUTBEKÄMPFUNG IST EINE REINE STANDORTFRAGE. *MAIS* 2/2003, 58–64.
- HANZLIK, K. UND B. GEROWITT, 2011: THE IMPORTANCE OF CLIMATE, SITE AND MANAGEMENT ON WEED VEGETATION IN OILSEED RAPE IN GERMANY. *AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT* **141**, 323–331.
- HOFMEISTER, H. UND E. GARVE, 1986: *LEBENSRAUM ACKER*. ERSTE AUFLAGE. PAREY, HAMBURG, BERLIN.
- IMGRABEN, H., 1998: UNKRAUTBEKÄMPFUNG PROBLEMLOS. *MAIS* 2/1998, 64–72.
- KLINGENHAGEN, G., 2002: NEUE STRATEGIEN MIT NEUEN PRÄPARATEN. *TOP AGRAR* 4/2002, 62–69.
- KLINGENHAGEN, G., 2009: DEN UNKRÄUTERN IM MAIS PAROLI BIETEN! *TOP AGRAR* 4/2009, 72–79.
- KLINGENHAGEN, G. UND D. GEBEL, 2000: UNKRÄUTER IM MAIS FLEXIBEL BEKÄMPFEN. *TOP AGRAR* 4/2000, 90–97.
- KOHNNEN, 2002: MAISHERBIZIDE 2002, [HTTP://WWW.KOHNEN-ONLINE.DE/PDF/LEITFADEN/MAISHERBIZIDE.PDF](http://www.kohnnen-online.de/pdf/leitfaden/maisherbizide.pdf), ZUGRIFF AM 20.6.2011
- KOHNNEN, 2004: MAISHERBIZIDE 2004, [HTTP://WWW.KOHNEN-ONLINE.DE/DOKUMENTE/MAISHERBIZIDE.PDF](http://www.kohnnen-online.de/dokumente/maisherbizide.pdf), ZUGRIFF AM 20.6.2011
- MEHRTENS, J., 2005: RÄUMLICHE UND ZEITLICHE VERTEILUNG VON UNKRÄUTERN IN MAIS. DISSERTATION UNIVERSITÄT HOHENHEIM. VERLAG GRAUER, BEUREN, STUTTGART.
- MEHRTENS, J., - M. SCHULTE UND - K. HURLE, 2005: UNKRAUTFLORA IN MAIS. *GESUNDE PFLANZEN* **57**, 206–218.

MEINERT, G., 2002: MAISHERBIZIDE IM ÜBERBLICK. MAIS 2/2002, 56-58.

MEINERT, G., 2004: VOR DER PFLANZENSCHUTZSAISON. MAIS 2/2004, 50-55.

OKSANEN, J., F. G. BLANCHET, R. KINDT, P. LEGENDRE, R. G. O'HARA, G. L. SIMPSON, P. SOLYMOS, M. H. H. STEVENS UND H. WAGNER (2010): VEGAN: COMMUNITY ECOLOGY PACKAGE. R PACKAGE VERSION 1.17-11, [HTTP://CRAN.R-PROJECT.ORG/PACKAGE=VEGAN](http://CRAN.R-PROJECT.ORG/PACKAGE=VEGAN).

R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009: R: A LANGUAGE AND ENVIRONMENT FOR STATISTICAL COMPUTING. R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING, VIENNA, AUSTRIA. ISBN 3-900051-07-0, URL [HTTP://WWW.R-PROJECT.ORG](http://www.R-project.org).

Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf das Auftreten von *Geranium* spp. im Winterraps

*Influence of site and management on the occurrence of *Geranium* spp. in winter oilseed rape in Germany*

Kristin Hanzlik^{1*}, Bärbel Gerowitt² & Alfons Schönhammer¹

¹BASF, Aktiengesellschaft, Carl-Bosch-Strasse 64, D-67117 Limburgerhof

²Universität Rostock, Institut für Landnutzung – Phytomedizin, Satower Str. 48, D-18059 Rostock

*Korrespondierender Autor, kristin.hanzlik@basf.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.086

Zusammenfassung

Hohe Anbauintensitäten und Wirkungslücken in einer begrenzten Herbizidpalette begünstigten in den vergangenen zwei Jahrzehnten die Etablierung und Ausbreitung schwer zu bekämpfender Unkräuter im Raps.

In einem bundesweiten Monitoring wurden zwischen 2006 und 2008 auf 452 Rapsschlägen Ausmaß, Zusammensetzung und Verteilung der Restverunkrautung nach Abschluss aller Herbizidmaßnahmen erfasst. Ziel war nicht nur, solche Unkrautarten zu identifizieren, die trotz praxisüblicher Herbizidbehandlung in verstärktem Maße im Raps auftreten und so auch in späten Wachstumsstadien noch Schäden verursachen, sondern auch zu ergründen, welchen Anteil Standort- und Anbaufaktoren an der Ausbreitung einzelner Problemunkräuter tragen.

Nach Abschluss der Rapsblüte wurde jeweils über den gesamten Schlag der Unkrautdeckungsgrad für jede identifizierte Unkrautart nach einer fünfstufigen Boniturskala geschätzt und ihre Verteilung über den Schlag eingestuft. Ergänzend wurden Daten zum Standort und zur Bewirtschaftung erhoben. Medianvergleiche dienten der statistischen Absicherung von Artpräferenzen bezüglich der untersuchten Parameter. Faktoren, für die ein Einfluss nachgewiesen werden konnte, wurden mit Hilfe von Entscheidungsbäumen (classification and regression trees) in ihrer Bedeutung für die jeweilige Unkrautart gewichtet und die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens bei verschiedenen Faktorenkombinationen und Herbizidstrategien vorhergesagt.

Geranium spp. waren mit einer Stetigkeit von 46,5 % auf nahezu jedem zweiten Rapsschlag vertreten, wobei sie artunabhängig Standorte mit weniger dichtem Kulturbestand und Höhenlagen über 200 m bevorzugten und am häufigsten dort auftraten, wo durch mehrfache Herbizideinsätze effektiv die Unkrautkonkurrenz ausgeschaltet wurde. Darüber hinaus zeigten sich unterschiedliche Präferenzen der Arten *Geranium pusillum*, *Geranium dissectum* und *Geranium rotundifolium* beispielsweise bezüglich der Art der Bodenbearbeitung, des Aussaattermins und der Bodengüte.

Stichwörter: Entscheidungsbäume, *Geranium dissectum*, *Geranium pusillum*, *Geranium rotundifolium*, Konkurrenz, Unkrautbekämpfung, Unkrautmonitoring

Summary

High intensity of oilseed rape (OSR) cropping and weaknesses in a restricted range of herbicides available for this crop favoured the spreading of problematic weeds in OSR during the last two decades.

In a nationwide weed survey of OSR fields, the extent and composition of the weed infestation post herbicide application was determined. On the one hand the investigations aimed at identifying weed species that frequently occur despite herbicide application in OSR and are able to compete with the crop at late growth stages. On the other hand the survey was conducted to analyse the contribution of site properties and management factors to the spread of single problematic weed species.

Between 2006 and 2008, a total of 452 fields were surveyed. At the end of OSR flowering the cover of each identified weed species was estimated across the whole field according to a five level scale. Additionally, information on site properties and management measures was collected. Median comparisons served to statistically verify preferences of *Geranium pusillum*, *G. dissectum* and *G. rotundifolium* regarding the investigated factors. By the use of classification and regression trees (CART), explanatory variables were weighted due to their importance to *G. pusillum* and *G. dissectum* and probabilities of occurrence due to different combinations of management factors and herbicide applications were calculated for these species.

Geranium spp. were found in 46.5 % of the investigated OSR fields. All three species preferred sites with lower crop density and most frequently occurred in altitudes above 200 m and after multiple applications of herbicides that eliminated competing weeds. Furthermore the *Geranium* spp. showed different preferences

regarding soil quality, the kind of soil tillage and the sowing date of OSR.

Keywords: Classification and regression trees, competition, *Geranium dissectum*, *Geranium pusillum*, *Geranium rotundifolium*, weed control, weed survey

1. Einleitung

Hohe Anbauintensitäten und Wirkungslücken in einer begrenzten Herbizidpalette begünstigten in den vergangenen zwei Jahrzehnten die Etablierung und Ausbreitung schwer zu bekämpfender Unkräuter im Raps (KLEIBER und HECKEL, 2004). In diesem Zusammenhang wird auch das vermehrte Auftreten von Unkräutern der Gattung *Geranium* genannt (SCHRÖDER et al., 2008; LUTMAN et al., 2009). In Deutschland wurde das Vorkommen von Storchschnabel-Arten nach bundesweiten Unkrauterhebungen in Mais noch vor wenigen Jahren als zerstreut eingestuft (MEHRTENS, 2005), wobei bereits von einer starken Zunahme berichtet und eine weitere Ausbreitung vorhergesagt wird (MEHRTENS et al., 2005).

Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren ebenfalls auf einem bundesweiten Monitoring, in dessen Rahmen zwischen 2006 und 2008 auf 452 Rapsschlägen Ausmaß, Zusammensetzung und Verteilung der Restverunkrautung nach Abschluss aller Herbizidmaßnahmen erfasst wurden. Ziel war nicht nur, solche Unkrautarten zu identifizieren, die trotz praxisüblicher Herbizidbehandlung in verstärktem Maße im Raps auftreten und so auch in späten Wachstumsstadien noch Schäden verursachen, sondern auch zu ergründen, welchen Anteil Standort- und Anbaufaktoren an der Ausbreitung einzelner Problemunkräuter tragen.

2. Material und Methoden

Nach Abschluss aller Herbizidmaßnahmen und Beendigung der Rapsblüte wurde über den gesamten Schlag der Unkrautdeckungsgrad für jede identifizierte Unkrautart nach einer fünfstufigen Boniturskala (Einzelpflanzen, < 5 %, 5 – 20 %, 20 – 50 %, > 50 %) geschätzt und die Gleichmäßigkeit ihrer Verteilung über den Schlag eingestuft (gleichmäßiges Auftreten vs. Nesterbildung, Randverunkrautung vs. Auftreten über den gesamten Schlag). Im vorliegenden Artikel werden hiervon lediglich die Daten zum Vorkommen der Storchschnabelarten Kleiner Storchschnabel (*Geranium pusillum*), Rundblättriger Storchschnabel (*G. rotundifolium*) und Schlitzblättriger Storchschnabel (*G. dissectum*) ausgewertet.

Ergänzend wurden Daten zum Standort (Tonanteil, Boden-pH, Ackerzahl, Humusgehalt, Schlaggröße, Höhenlage, Boniturzeitpunkt) und zur Bewirtschaftung (Aussaattermin Raps, Dauer des Rapsanbaus am Standort, Bestandesdichte Raps, Rapsanteil in der Fruchtfolge, Anteil Wintergetreide in der Fruchtfolge, Vorfrucht, Art der Bodenbearbeitung, Dauer pflugloser Bodenbearbeitung, Art der Düngung, Applikationszeitpunkt der eingesetzten Rapsherbizide) erhoben. Zusätzlich wurde die Wirksamkeit der eingesetzten Rapsherbizide gegenüber *Geranium*-Arten als erklärende Variable in den Analysen herangezogen. Die Datengrundlage hierfür bildeten die entsprechenden Produktbeschreibungen der Hersteller und Ergebnisse von Produktprüfungen der amtlichen Pflanzenschutzdienste (Kreuzchentabellen), wobei im Fall mehrerer Herbizidanwendungen die Werte der Wirksamkeit (0-3, entsprechend -, +, ++, +++) aufaddiert wurden (Tab. 1).

Medianvergleiche (Wilcox-Test) und χ^2 -Tests dienten der statistischen Absicherung von Artpräferenzen bezüglich der untersuchten Parameter. Diejenigen Faktoren, für die ein Einfluss nachgewiesen werden konnte, wurden mit Hilfe von Entscheidungsbäumen (classification and regression trees, CART) in ihrer Bedeutung für die jeweilige Unkrautart gewichtet und die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens bei verschiedenen Faktorenkombinationen vorhergesagt und verglichen. Bei CART handelt es sich um ein robustes statistisches Verfahren, welches die Variation einer abhängigen Variable in Bezug auf ein oder mehrere erklärende Variablen analysiert, indem die zur Verfügung stehenden Daten wiederholt basierend auf einfachen logischen Regeln geteilt werden. Eine Entscheidung erfolgt jeweils auf Grundlage derjenigen erklärenden Variablen, welche die verbleibenden Daten am eindeutigsten klassifizieren kann. Das Ergebnis wird graphisch in Form eines sich vom sogenannten Wurzelknoten (ungeteilter Datensatz) aus verzweigenden Baumes dargestellt.

Ein Entscheidungsbaum kann dabei beliebig viele Entscheidungsknoten besitzen, aus denen jeweils zwei sich gegenseitig ausschließende Gruppen jeweils höchstmöglicher Homogenität hervorgehen. Am Ende dieser Verzweigungen befinden sich die Blätter, welche die finalen Gruppen von Standorten enthalten, eine definierte Mindestmenge an Elementen nicht unterschreiten dürfen und das erreichbare Maximum an Homogenität bezüglich der abhängigen Variable repräsentieren (DE'ATH und FABRICIUS, 2000).

Tab. 1 Einstufung der an den untersuchten Standorten des Unkrautmonitorings verwendeten Raps herbizide bezüglich ihrer Wirksamkeit gegen *Geranium* spp. (links) und Verteilung der Wirksamkeitssummen (rechts).

Tab. 1 *Oilseed rape herbicides used at the sites of the weed survey and their classification due to control level of Geranium spp. (left) and distribution of sum values for control (right).*

Herbizid	Wirkstoff(e)	Anwendung	Wirkung auf GERSS
Brasan	Dimethachlor, Clomazone	VA	1
Butisan	Metazachlor	NAK	0
Butisan Top	Metazachlor, Quinmerac	NAK	1
Cirrus	Clomazone	VA	0
Effigo	Clopyralid, Picloram	NAH/NAF	0
Fox	Bifenox	NAH	1
Lontrel 100	Clopyralid	NAF	0
Nimbus CS	Metazachlor, Clomazone	VA	1
Stomp Aqua	Pendimethalin	NAH	1
Agil S	Propaquizafop	NAH	0
Focus Ultra	Cycloxydim	NAH	0
Fusilade Max	Fluazifop-p-butyl	NAH/NAF	0
Gallant Super	Haloxifop-R	NAH	0
Ipifluor	Trifluralin	VS	0
Kerb flo	Propyzamid	NAH	0
Pradone Kombi	Carbetamid, Dimefuron	NAH/NAF	0
Roundup	Glyphosat	YS	3
Select 240 EC	Clethodim	NAH/NAF	0
Targa Super	Quizalofop-P	NAH	0
Treflan	Trifluralin	VS	0

Wirksamkeit Summe	Anzahl Standorte
0	119
1	317
2	14
3	0
4	2

3. Ergebnisse

3.1 Verbreitung von *Geranium* spp. in Deutschland

Geranium spp. waren mit einer Stetigkeit von 46,5 % auf nahezu jedem zweiten Rapschlag vertreten, wobei der Kleine Storchschnabel (*Geranium pusillum*) auf 24,1 % aller untersuchten Standorte vor dem Rundblättrigen Storchschnabel (*G. rotundifolium*, 18,1 %) und dem Schlitzblättrigen Storchschnabel (*G. dissectum*, 14,8 %) dominierte. Während sich für *G. pusillum* kein Verbreitungsschwerpunkt innerhalb Deutschlands erkennen ließ, kam *G. rotundifolium* im Rahmen des vorgestellten Unkrautmonitorings vor allem in Mitteldeutschland vor. *G. dissectum* hingegen trat verstärkt in der südlichen Landeshälfte auf (Abb. 1).

3.2 Einfluss von Standort und Bewirtschaftung

Alle untersuchten Unkräuter der Gattung *Geranium* bevorzugten Höhenlagen über 200 m und Standorte mit weniger dichtem Kulturbestand, wobei die letztere Tendenz bei *G. pusillum* und *G. rotundifolium* deutlicher ausgeprägt war als bei *G. dissectum* (Abb. 2). Artunabhängig traten Storchschnabelarten tendenziell am häufigsten dort auf, wo durch mehrfache Herbizideinsätze effektiv die Unkrautkonkurrenz ausgeschaltet wurde (Tab. 2b). Unbeeinflusst zeigten sich alle drei Unkrautarten dagegen vom Tonanteil des Bodens, sowie den Fruchtfolgeanteilen von Raps und Wintergetreide.

Unterschiedliche Präferenzen der Arten *G. pusillum*, *G. dissectum* und *G. rotundifolium* zeigten sich

hingegen bezüglich der Art der Bodenbearbeitung, des Aussaattermins und der Bodengüte. So traten *G. pusillum* und *G. rotundifolium* häufiger auf früher gesäten Rapschlägen auf, während *G. dissectum* tendenziell häufiger auf Flächen anzutreffen war, die etwas später als der Durchschnitt bestellt wurden. Weiterhin fiel für *G. rotundifolium* ein im Vergleich mit den anderen beiden Arten höherer Anspruch an die Bodengüte auf, wohingegen *G. dissectum* im Mittel die kalkhaltigsten Standorte besiedelte. Die Durchführung einer nicht-wendenden Bodenbearbeitung vor der Rapssaat förderte das Auftreten von *G. dissectum* und *G. rotundifolium* signifikant, hatte jedoch keinerlei Auswirkungen auf die Häufigkeit von *G. pusillum* (Tab. 2a). Auch die Dauer der (kontinuierlichen) pfluglosen Bodenbearbeitung am untersuchten Standort wirkte sich verstärkend auf das Auftreten der beiden erstgenannten Unkrautarten aus. Der Median der Standorte mit Auftreten von *G. dissectum* oder *rotundifolium* lag bei ca. 8 Jahren pflugloser Bestellung, jener der Grundgesamtheit aller pfluglos bestellten Standorte bei 5 Jahren. Darüberhinaus ließ sich ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *G. dissectum* und solchen Schlägen, auf denen schon überdurchschnittlich lange Raps angebaut wird erkennen.

Insgesamt waren für das Auftreten von *G. pusillum* in abnehmender Wichtigkeit die Bestandesdichte des Rapses, die Wirksamkeit der eingesetzten Herbizide und der Saattermin des Rapses von Bedeutung (Abb. 3). Eine Bestandesdichte von 52 und mehr Rapspflanzen/m² hatte mit großer Wahrscheinlichkeit storchschnabelfreie Schläge zur Folge, während insbesondere bei einer Kombination von geringerer Bestandesdichte, Einsatz von Herbiziden mit Teilwirkung gegen *Geranium* spp. und einer Aussaat in der ersten Augushälfte (Tage nach dem 15.07. ≤ 30) die Wahrscheinlichkeit eines Auftretens von *G. pusillum* bei über 50 % lag. Abbildung 4 stellt die komplexen Auswirkungen unterschiedlicher Herbizidstrategien auf das Auftreten von *G. dissectum* dar. Auch hier fällt auf, dass diese Unkrautart ausgerechnet nach dem Einsatz eines der wenigen zur Zeit der Datenerhebung überhaupt verfügbaren Herbizide mit einer Teilwirkung gegen Storchschnabel-Arten besonders häufig vorgefunden wurde. Insbesondere die Ausbringung mehrerer Herbizide/Wirkstoffe in Nachauflauf-Behandlungen im Herbst (NAH) und/oder im Voraufbau hatten im Vergleich zu Behandlungsfolgen mit Nachauflauf im Keimblatt (NAK) oder Frühjahrsbehandlung (NAF) wesentlich erhöhte Auftretenswahrscheinlichkeiten von *G. dissectum* zur Folge.

Tab. 2 Relative Häufigkeit von *Geranium* spp. in Abhängigkeit von der Art der Bodenbearbeitung (a) und der Anzahl erfolgter Herbizidanwendungen (b).

Tab. 2 Relative frequency of *Geranium* spp. due to kind of tillage system (a) and number of herbicide applications (b).

Relative Häufigkeit von *Geranium* sp. :

(a) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

	nicht-wendend	wendend	Chi ² -Test
GERPU	0.24	0.24	ns
GERRT	0.22	0.13	*
GERDI	0.18	0.09	*

(b) nach unterschiedlich häufiger Herbizidbehandlung der Rapschläge

	1x	2x	3x	4x	
GERPU	0.27	0.23	0.18	0.38	ns
GERRT	0.13	0.17	0.23	0.25	ns
GERDI	0.12	0.11	0.20	0.38	ns

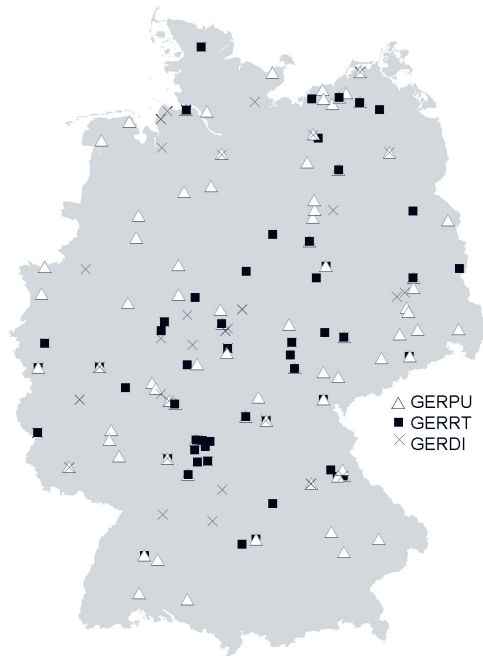


Abb. 1 Vorkommen von *Geranium pusillum*, *G. rotundifolium* und *G. dissectum* bei bundesweiten Unkraut-erhebungen 2006 - 2008 (n = 452).

Fig. 1 Occurrence of *Geranium pusillum*, *G. rotundifolium* and *G. dissectum* in a nation wide weed survey 2006 – 2008 (n = 452).

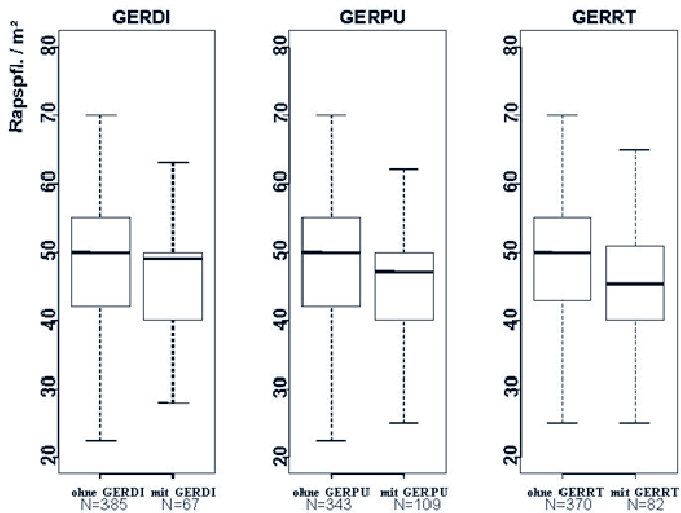


Abb. 2 Vergleich von Standorten mit und ohne Auftreten von *Geranium pusillum*, *G. rotundifolium* und *G. dissectum* bezüglich der Bestandesdichte von Raps.

Fig. 2 Comparison of sites with and without occurrence of *Geranium pusillum*, *G. rotundifolium* and *G. dissectum* regarding the crop density.

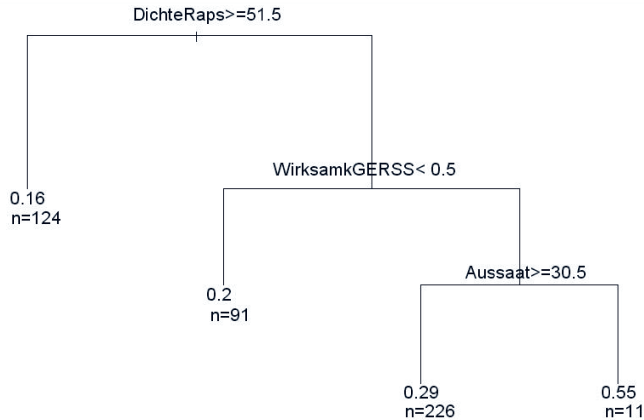


Abb.3 Entscheidungsbaum (CART) mit Auftretenswahrscheinlichkeiten von *G. pusillum* bei verschiedenen Kombinationen von Bewirtschaftungsfaktoren (DichteRaps = Rapspflanzen/m², WirksamkGERSS = Summe der Wirksamkeiten aller eingesetzten Herbizide gegenüber *Geranium* spp. (siehe Tab. 1), Aussaat = Saattermin in Tagen nach dem 15.07.).

Fig. 3 Classification and regression tree (CART) showing the probability of occurrence of *G. pusillum* due to different combinations of management factors (DichteRaps = oilseed rape plants/m², WirksamkGERSS = sum of control level of all applied oilseed rape herbicides regarding *Geranium* spp. (see Tab. 1), Aussaat = crop sowing date as number of days from 15.07.).

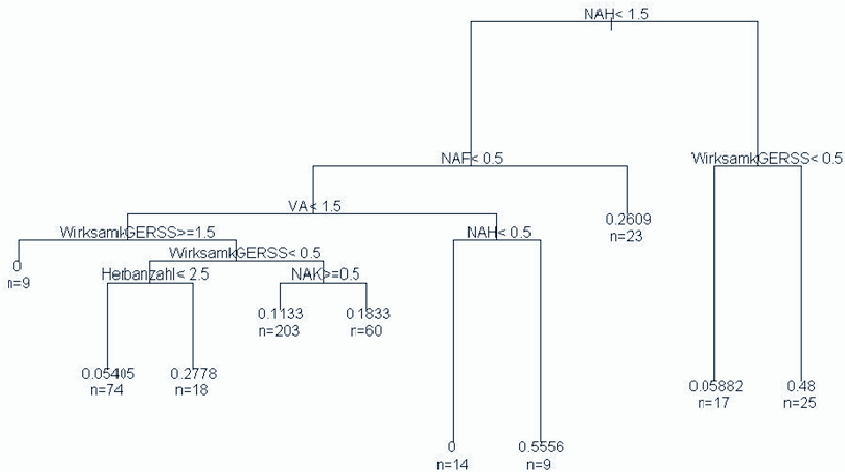


Abb. 4 Entscheidungsbaum (CART) mit Auftretenswahrscheinlichkeiten von *G. dissectum* bei verschiedenen Herbizidstrategien. (WirksamkGERSS = Summe der Wirksamkeiten aller eingesetzten Herbizide gegenüber *Geranium* spp. (siehe Tab. 1), VA = Voraufbau, NAK = Nachaufbau Keimblattstadium, NAF = Nachaufbau Herbst, NAF = Nachaufbau Frühling, Zahlen stehen für die Anzahl der eingesetzten Herbizide im entsprechenden Applikationszeitraum).

Fig. 4 Classification and regression tree (CART) showing the probability of occurrence of *G. dissectum* due to different herbicide strategies. (WirksamkGERSS = sum of control level of all applied oilseed rape herbicides regarding *Geranium* spp. (see Tab. 1), VA = pre-emergence application, NAK = early post-emergence, NAF = post-emergence autumn, NAF = post-emergence spring, numbers indicate number of herbicides applied at the corresponding application time).

4. Diskussion

Die Förderung von *Geranium*-Arten durch nicht-wendende Bodenbearbeitung und eine frühe Rapsaussaat in der ersten Augushälfte wurde auch in anderen Unkrauterhebungen beobachtet (HANZLIK und GEROWITT, 2010), konnte aber an dieser Stelle erstmals auf Artebene nachgewiesen und für *G. pusillum* entsprechend eingeschränkt werden.

Die vorgestellten Daten wurden zur Zeit der Markteinführung der Nachauflauf-Rapsherbizide Effigo® (Clopyralid, Picloram), Fox® (Bifenox) und Stomp Aqua® (Pendimethalin) erhoben, die zumindest eine Teilwirkung auf *Geranium* spp. haben. Abgesehen von Clomazone, das ebenfalls noch nicht sehr lange im Raps eingesetzt wird, und hohen Aufwandmengen von Glyphosat, wirken die restlichen im Untersuchungszeitraum eingesetzten Herbizide gar nicht auf Storchschnabel-Arten. Entsprechend unzureichend waren die Möglichkeiten der Kontrolle dieser Unkrautgattung. Wahrscheinlich ist die Selektion von *Geranium*-Arten sehr schnell erfolgt. In den Jahren 2000 – 04 wurden vor der Unkrautbekämpfung im Mais *Geranium* spp. durchschnittlich auf 11,5 % aller Flächen (n = 2602) vorgefunden (MEHRTENS, 2005). Im Zeitraum 2005 – 2007 wurden mit der gleichen Erhebungsmethode auf 34,3 % Rapsflächen (n = 1463) Storchschnabel-Arten bonitiert (HANZLIK, 2011). Die beiden Datensätze erlauben es nicht zu unterscheiden, ob eine zeitliche Zunahme in der Gesamtperiode vorliegt oder der Einfluss der beiden verschiedenen Feldfrüchte (Mais/Raps) überwiegt. Die hier vorgestellten Ergebnisse im Raps, die in einem vergleichbaren Zeitraum (2006 – 2008) und dergleichen Kultur, allerdings durch eine Unkrautbonitur nach erfolgtem Herbizideinsatz gewonnen wurden, stützen die Beobachtung im Raps und veranschaulichen außerdem wie sehr *Geranium* spp. von der Beseitigung konkurrierender Unkräuter profitiert. Dieser Zusammenhang kann auch erklären, warum gerade nach Einsatz der neueren, gegen viele andere häufige Unkrautarten effektiv wirkenden Wirkstoffe ein verstärktes Auftreten von *Geranium pusillum*, *Geranium dissectum* und *Geranium rotundifolium* zu beobachten ist.

Danksagung

Die Autoren danken allen Landwirte und Mitarbeitern der amtlichen Pflanzenschutzdienste, die Flächen für die Untersuchungen zur Verfügung stellten, Fragebögen beantworteten und Bonituren durchführten.

Literatur

- DEATH, G. UND K.E. FABRICIUS, 2000: CLASSIFICATION AND REGRESSION TREES: A POWERFUL YET SIMPLE TECHNIQUE FOR ECOLOGICAL DATA ANALYSIS. *ECOLOGY* **81**, 3178-3192.
- HANZLIK, K. UND B. GEROWITT, 2010: VERÄNDERN PFLUGLOSE BODENBEARBEITUNG UND FRÜHSAATEN DIE UNKRAUTVEGETATION IM WINTERRAPS? (DO NON-INVERSION TILLAGE AND EARLY CROP SOWING CHANGE THE WEED VEGETATION IN WINTER OILSEED RAPE?). *GESUNDE PFLANZEN* **62**, 1 - 9.
- HANZLIK, K., 2011: ACKERUNKRÄUTER IM WINTERRAPS – ARTEN, HÄUFIGKEITEN, STRUKTURELLE VERÄNDERUNGEN (ARABLE WEEDS IN OILSEED RAPE IN GERMANY – SPECIES, FREQUENCIES, STRUCTURAL CHANGES). DISSERTATION, UNIVERSITÄT ROSTOCK.
- KLEIBER, E. UND W. HECKL, 2004: EINSATZ VON BIFENOX IM WINTERRAPS ZUR BEKÄMPFUNG ZWEIFEIMBLÄTTRIGER PROBLEMUNKRÄUTER IM NACHAUFLAUF. PAREY BUCHVERLAG, BERLIN.
- LUTMAN, P., J. STORKEY, H. MARTIN UND J. HOLLAND, 2009: ABUNDANCE OF WEEDS IN ARABLE FIELDS IN SOUTHERN ENGLAND IN 2007/08. *ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY* **91**, 1-6.
- MEHRTENS, J., 2005: RÄUMLICHE UND ZEITLICHE VERTEILUNG VON UNKRÄUTERN IN MAIS. BEUREN, GRAUER, STUTTGART, 1-211.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE UND K. HURLE, 2005: UNKRAUTFLORA IN MAIS - ERGEBNISSE EINES MONITORINGS IN DEUTSCHLAND. *GESUNDE PFLANZEN* **57**, 206-218.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, B. KRÜGER, E. BERGMANN UND R. BALGHEIM, 2008: NEUE MÖGLICHKEITEN BEI DER UNKRAUTBEKÄMPFUNG IN WINTERRAPS - EIN BEITRAG ZUR UMSETZUNG DES INTEGRIERTEN PFLANZENSCHUTZES IN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN PRAXIS. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION SPECIAL ISSUE XXI*, 483-492.

Möglichkeiten der Kontrolle von Storchschnabel-Arten (*Geranium* spp.) mit Herbiziden im Ackerbau

*Opportunities of cranesbill (*Geranium* spp.) control with herbicides in arable farming*

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen & Thomas Festner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, D-85354 Freising-Weihenstephan

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

DOI: 10.5073/jka.2012.434.087

Zusammenfassung

Storchschnabel-Arten haben sich in den letzten Jahren in vielen Ackerbauregionen von Rand- und Nebenunkräutern zu behandelungsentscheidenden Leitunkräutern entwickelt. Intensive Raps- und Mais-Fruchtfolgen sind von dieser Entwicklung besonders betroffen. Die verfügbaren Herbizide haben in den intensiven Raps- und Mais-Fruchtfolgen nur eine begrenzte Wirkung gegenüber den verschiedenen Storchschnabel-Arten. Anhand der Ergebnisse von Dosis-Wirkungsversuchen im Labor und mehrjährigen Feldversuchen werden die Möglichkeiten der chemischen Bekämpfung von Storchschnabel-Arten im Getreide-, Raps- und Maisanbau dargestellt. Anhand der Untersuchungsergebnisse werden Behandlungsempfehlungen für die chemische Bekämpfung von Storchschnabel-Arten im Ackerbau diskutiert.

Stichwörter: Dosis-Wirkungsversuch, Feldversuch, Fruchtfolge, Herbizidaktivität, Laborversuch

Summary

Cranesbill species achieved a strong expansion with high infestation rates in German arable farming systems in the last years. They evolved from rare to hard-to-control weeds. Crop rotations with a high percentage of winter oilseed rape and maize are mainly affected. Current herbicides show only a limited efficacy against cranesbill species in these crops. Data from field trials and laboratory tests show the potency of chemical control measures in cereals, winter oilseed rape and maize. The experimental results are summarized and recommendations for the chemical control of cranesbill in arable farming discussed.

Keywords: Crop rotation, dose-response test, field trial, herbicide efficacy, laboratory test

1. Einleitung

Storchschnabelgewächse (*Geraniaceae*) wurden noch vor wenigen Jahren als konkurrenzschwach und mit einer geringen Bedeutung im Ackerbau beschrieben (HÖLZNER und GLAUNINGER, 2005). Diese Bewertung muss inzwischen auf vielen Standorten und Anbauregionen revidiert werden. Neben dem vermehrten Auftreten in Raps-Fruchtfolgen (GOERKE et al., 2008) haben sich Storchschnabel-Arten inzwischen auch in typischen Mais-Fruchtfolgen (RÄDER et al., 2010) als schwer bekämpfbare Problemunkräuter etablieren können. Für die unerwartete Ausbreitung der Storchschnabel-Arten werden die Klimaveränderung (PETERS und GEROWITT, 2011) und veränderte ackerbauliche Produktionsverfahren (HANZLIK und GEROWITT, 2010; PETERS et al., 2009) diskutiert.

Während im Getreidebau die chemische Kontrolle von Storchschnabel-Arten mit boden- und blattaktiven Herbiziden relativ unproblematisch ist, stellt die erfolgreiche Herbizidbehandlung im Mais und Raps wesentlich größere Anforderungen an die Produktionspraxis. Der Bayerische Pflanzenschutzdienst hat die Fragen aus der Praxis nach möglichst optimalen Anwendungsverfahren aufgegriffen. Im Rahmen von mehrjährigen Feldversuchen wurde ein Leistungsvergleich verschiedener Herbizidbehandlungen im Raps und Mais vorgenommen. Um möglichst effiziente Behandlungsempfehlungen zu entwickeln wurden die Ergebnisse der Freilandversuche zusätzlich mit einer Klimakammer-Versuchsserie abgeglichen.

2. Material und Methoden

Die Feldversuche zur Storchschnabel-Bekämpfung in Winterraps wurden in den Anbauperioden von 1999 bis 2010 und die Maisversuche in den Jahren 2007 bis 2010 jeweils als Streulagenversuche in verschiedenen Ackerbauregionen Bayerns durchgeführt. Es handelte sich hierbei um Exaktversuche

nach den Vorgaben der EPPO-Richtlinie PP 1/49(2) bzw. PP 1/50(2). Zur Anwendung kamen verschiedene Breitbandherbizide als Solobehandlung, als Tankmischung mit Ergänzungspräparaten oder auch als Spritzfolgebehandlung für eine ausreichende Breitenwirkung gegen den jeweiligen standort- und kulturartspezifischen Unkrautbesatz. Im Raps handelte es sich häufig um Einzelanwendungen und nur teilweise um Spritzfolgen mit Ergänzungspräparaten. Im Mais waren es dagegen meist Tankmischungen mit zwei bis drei Herbiziden und nur im Ausnahmefall auch Spritzfolgebehandlungen. Die eingesetzten Herbizide sind in Tabelle 1 und 2 aufgelistet.

Tab. 1 Herbizide zur Bekämpfung von Storchschnabel-Arten in Winterraps.

Tab. 1 *Herbicides for the control of cranesbill in winter oilseed rape.*

Präparat/Handelsname	Aufwand (l/ha)	Wirkstoff/-gehalt (a.i. g/l)
Basis-Herbizide		
Brasan	1,50 - 3,00	Dimethachlor 500 + Clomazone 40
Butisan Gold	2,50	Dimethenamid-P 200 + Metazachlor 200 + Quinmerac 100
Butisan Kombi	2,50	Dimethenamid-P 200 + Metazachlor 200
Butisan Top	1,25 - 2,00	Metazachlor 375 + Quinmerac 125
Centium 36 CS	0,25	Clomazone 360
Colzor Trio	3,00 - 4,00	Napropamid 188 + Dimethachlor 188 + Clomazone 30
DOW16330H*	0,30	Clopyralid 240 + Picloram 80 + Aminopyralid 40
Fuego	1,25	Metazachlor 500
Nimbus CS	3,00	Metazachlor 250 + Clomazone 33
Quantum	2,00	Pethoxamid 600
Ergänzungs-Herbizide (Tankmischung oder Spritzfolge)		
Effigo	0,35	Clopyralid 267 + Picloram 67
Fox	1,00	Bifenox 480
Spekturm	0,70	Dimethenamid-P 720
Stomp Aqua	2,00	Pendimethalin 455

*) noch nicht registriertes Prüfpräparat

Da es sich um unvollständige, nicht orthogonale Streulagenversuche handelte, erfolgte eine zusammenfassende Auswertung der mittleren Bekämpfungsleistung in Abhängigkeit von Applikationsterminen, Storchschnabel-Art, eingesetzten Basiswirkstoff und Herbizid-Varianten. Der Wirkungsgrad und die Wirkungssicherheit wurden anhand der arithmetischen Mittelwerte und der Standardabweichung verglichen. Eine weitere statistische Analyse wurde aufgrund der Charakteristik der Feldversuchsdaten nicht vorgenommen.

Tab. 2 Herbizide zur Bekämpfung von Storchschnabel-Arten in Mais.

Tab. 2 *Herbicides for the control of cranesbill in maize.*

Präparat/Handelsname	Aufwand (kg bzw. l/ha)	Wirkstoff/-gehalt (a.i. g/kg bzw. l)
Basis-Herbizide		
BAS65701H*	3,0 l	Dimethenamid-P 280 + Terbutylazin 250
Bromoterb	1,5 - 2,0 l	Terbutylazin 300 + Bromoxynil 200
Calaris	1,0 - 1,5 l	Terbutylazin 330 + Mesotrione 70
Clio Super	1,0 - 1,5 l	Dimethenamid-P 538 + Topramezone 32
Dual Gold	0,8 - 1,25 l	S-Metolachlor 960
Gardo Gold	2,5 l	S-Metolachlor 313 + Terbutylazin 188
Gardobuc	1,0 l	Terbutylazin 333 + Bromoxynil 150
Spectrum	1,0 - 1,4 l	Dimethenamid-P 720
Stomp Aqua	2,0 - 2,5 l	Pendimethalin 455
Successor T	2,0 - 3,0 l	Pethoxamid 300 + Terbutylazin 188
Terano fl.	1,0 l	Flufenacet 500 + Metosulam 21
Zeagran Ultimate	1,5 l	Terbutylazin 250 + Bromoxynil 100
Ergänzungs-Herbizide (Tankmischung oder Spritzfolge)		
Arrat	0,2 kg	Dicamba 500 + Tritosulfuron 250
Callisto	0,75 - 1,0 l	Mesotrione 100

Präparat/Handelsname	Aufwand (kg bzw. l/ha)	Wirkstoff/-gehalt (a.i. g/kg bzw. l)
Certrol B	0,4 - 0,5 l	Bromoxynil 235
Clio Star	0,75 - 1,0 l	Dicamba 160 + Topramezone 50
Laudis	1,4 - 2,0 l	Tembotrione 44
MaisTer Flüssig	1,0 - 1,5 l	Foramsulfuron 30 + Iodosulfuron 1
Mikado	1,0 l	Sulcotrione 300
Milagro	1,0 l	Nicosulfuron 40
Milagro forte	0,75 l	Nicosulfuron 60
Motivell	0,8 l	Nicosulfuron 40
Peak	0,02 kg	Prosulfuron 750
Terbuthylazin 500	1,0 - 1,2 l	Terbuthylazin 500

*) noch nicht registriertes Prüfpräparat

In drei Klimakammer-Versuchen wurde eine Dosis-Wirkungsprüfung verschiedener Getreide-, Mais- und Raps-herbizide gegenüber *Geranium dissectum* (Schlitzblättriger Storchschnabel) und *Geranium pusillum* (Kleiner Storchschnabel) vorgenommen. Die aus Samen (Herkunft: Fa. Herbiseed, UK) angezogenen Pflanzen wurden zu für die jeweiligen Herbizide praxisüblichen Terminen im Voraufbau bis zum Nachaufbau (BBCH 11-12) in drei Dosisstufen mit 50, 100 und 200 % der registrierten Standardaufwandmenge des einzelnen Herbizids behandelt. Neben den in den Feldversuchen geprüften Raps- und Mais-Herbiziden wurden in den Klimakammerversuchen auch Getreide-Herbizide auf die Wirksamkeit gegenüber Storchschnabel-Arten untersucht (Tab. 3).

Tab. 3 Im Klimakammerversuch geprüfte Getreide-Herbizide.

Tab. 3 Cereal herbicides used in the climate chamber test.

Präparat/Handelsname	Aufwand (kg, L/ha)	Wirkstoff/-gehalt (a.i. g/kg, L)
Absolute M	0,18	Diflufenican 444 + Flupyrsulfuron 54
Alister	1,00	Diflufenican 150 + Mesosulfuron 9 + Iodosulfuron 3
Ariane C	1,50	Fluroxypyr 100 + Clopyralid 80 + Florasulam 3
Artus	0,05	Carfentrazone 373 + Metsulfuron 96
Bacara Forte	1,00	Diflufenican 120 + Flufenacet 120 + Flurtamone 120
Carmina 640	3,50	Clortoluron 600 + Diflufenican 40
Concert SX	0,10	Thifensulfuron 385 + Metsulfuron 38
GLOB466*	0,25	Diflufenican 500
Falkon	1,00	Diflufenican 100 + Penoxsulam 15
Fenikan	3,00	Isoproturon 500 + Diflufenican 63
Fox	1,00	Bifenox 480
Gropper SX	0,04	Metsulfuron 193
Herold SC	0,60	Flufenacet 400 + Diflufenican 200
Lexus	0,02	Flupyrsulfuron 463

*) noch nicht registriertes Prüfpräparat; E = Einheit (l bzw. kg)

Die Aussaat erfolgte flächig mit einem Mikrolöffel auf Pflanztopfträgerplatten (10 Töpfe mit 4,5 cm Durchmesser). Die Saatstärke wurde so gewählt, dass nach der Korngröße und Keimfähigkeit der jeweiligen Art ein relativ gleichmäßiger Pflanzenbestand erreicht wurde. Als Substrat wurde ein natürlicher Mineralboden vom Standort Freising verwendet (Parabraunerde aus Lößlehm, 2,8 % organische Substanz, pH 7,2). Die Bewässerung erfolgte durch regelmäßiges Gießen und im Anstauverfahren zur gleichmäßigen Durchfeuchtung der Pflanztöpfe. In der Anzuchtphase wurde eine einmalige Düngung mit Flüssigdünger (Wuxal® 8-8-6, 100 ml/10 l Gießwasser) mit der Bewässerung vorgenommen. Die Anzucht und Wirkungsperiode fand in einer Klimakammer (Typ York® 520284) statt. Bei einer Tag:Nacht-Phase von 12:12 Stunden wurde die Temperatur auf 20 °C am Tag und 10 °C in der Nacht und die Lichtintensität am Tag auf 70000 Lux (Lampen Typ Phillips® MT400LE/U, Weißlicht mit tageslichtähnlichem Vollspektrum, 400 µmol PAR/m²*s) eingestellt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten. Die Applikation erfolgte je nach zu prüfenden Herbizid unmittelbar nach der Einsaat und Befeuchtung im Voraufbauverfahren (BBCH 00),

im Keimblattstadium (BBCH 09) bzw. nach einer Anzuchtperiode von ca. 10-14 Tagen im Entwicklungsstadium BBCH 10-12. Hierfür wurde eine linearangetriebene Laborspritzbahn (Fab. Schachtner) verwendet. Die Applikation erfolgte mit Flachstrahldüsen vom Typ TeeJet® 8001EVS. Bei einem Spritzdruck von 2,5 bar und einer Geschwindigkeit von 2,0 km/h betrug die Wasseraufwandmenge 200 l/ha. Die Behandlungsvarianten wurden in fünf Wiederholungen durchgeführt. Der Vergleich der Herbizidbehandlungen erfolgte anhand der am Ende einer Wirkungsperiode von 21-25 Tagen vorhandenen Sprossfrischmasse der beiden *Geranium*-Arten. Die statistische Auswertung der Daten wurde mit der SAS/STAT®-Software Version 9.2 für Windows XP® unter Anwendung einer einfaktoriellem Student-Newman-Keuls ANOVA (5 % Irrtumswahrscheinlichkeit) vorgenommen. Vor der Anwendung der Varianzanalyse wurden die Daten einer logarithmischen Transformation ($y=\log(x+1)$) für eine bessere Annäherung an eine Normalverteilung unterzogen. Für eine bessere Übersichtlichkeit werden im Folgenden nur die Wirkungsergebnisse auf Basis der zugelassenen Standarddosis der jeweiligen Präparate dargestellt.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse aus den Feldversuchsprogrammen

Bei den Herbizidversuchen in Winterraps konnten acht Versuchsstandorte mit Storchschnabel-Arten als Leitunkräuter ausgewertet werden. Insgesamt wurden 111 Behandlungsvarianten hinsichtlich der Storchschnabel-Wirkung verglichen. Die Auswertung erfolgte bei den Rapsversuchen ohne Differenzierung der jeweiligen Storchschnabel-Art. Im Mittel der 111 Prüfvarianten wurde nur ein relativ niedriger Wirkungsgrad von 56 % erreicht. Hierbei gab es keinen Unterschied hinsichtlich des Anwendungsverfahrens als Vorauf- oder Nachaufbehandlung. Die Voraufbehandlung (VA) mit 3,0 – 4,0 l/ha Colzor Trio war mit 73 % Wirkung deutlich besser als die bisherige Nachaufbehandlung (NAK) mit 2,0 l/ha Butisan Top und 38 % Wirkung (Tab. 4). Die beste Storchschnabel-Wirkung wurde mit 2,5 l/ha Butisan Kombi im Voraufverfahren erzielt. Die im Mittel aller Behandlungen relativ geringe Wirkungssicherheit bei der Bekämpfung von Storchschnabel-Arten (Standardabweichung, STABW 34 %) war bei der Behandlung mit Butisan Kombi im Voraufverfahren deutlich verbessert (STABW: 16 %).

Tab. 4 Storchschnabel-Wirkung von Herbizidbehandlungen in Winterraps.

Tab. 4 *Herbicide efficacy for the control of cranesbill in winter oilseed rape.*

Varianten	Wirkungsgrad (rel. %)		Anzahl n
	MW	STABW	
Alle Behandlungen	56	34	111
Alle VA-Behandlungen	56	38	54
Alle NA-Behandlungen	57	31	52
Butisan Kombi, 2,5 l/ha, VA	88	16	13
ColzorTrio, 3,0 - 4,0 l/ha, VA	73	31	14
Butisan Top, 2,0 l/ha, NAK	38	25	8
Butisan Top, 1,25 l/ha, NAK / Effigo, 0,35 l/ha, NAH	52	29	8
Butisan Top, 1,25 l/ha, NAK / Fox 0,4 + 0,6 l/ha, NAH1+2	60	28	6

MW = Mittelwert; STABW = Standardabweichung; VA = Voraufverfahren; NAK = Nachaufverfahren im Keimblattstadium

Von den Versuchen zur Storchschnabel-Bekämpfung im Maisanbau konnten acht Feldversuche mit insgesamt 110 Behandlungsvarianten ausgewertet werden. Je nach Standort wurde eine Auswertung gegenüber *Geranium*-Arten oder spezifisch gegenüber *Geranium pusillum* (Kleiner Storchschnabel) bzw. *Geranium rotundifolium* (Rundblättriger Storchschnabel) vorgenommen (Tab. 5). Im Mittel über alle Behandlungen wurde eine Storchschnabel-Wirkung von 77 % erreicht. Der Rundblättrige Storchschnabel war mit durchschnittlich 83 % etwas besser zu bekämpfen als der Kleine Storchschnabel mit im Mittel 74 % Wirkungsgrad über alle Behandlungen. Herbizidbehandlungen auf der Basis von Terbutylazin (TBA) waren mit einem durchschnittlichen Storchschnabel-Wirkungsgrad

von 90 % deutlich besser als TBA-freie Behandlungen mit durchschnittlich 59 % Storchschnabel-Wirkung. In Bezug auf den Anwendungstermin waren Voraufaufbehandlungen mit durchschnittlich 87 % den üblichen Nachaufauf-Anwendungen in BBCH 12-14 und Spätbehandlungen in BBCH 15-16 mit jeweils $\bar{\varnothing}$ 78 bzw. 62 % GERSS-Wirkung überlegen. Die Mehrzahl der Behandlungsvarianten wurde im praxisüblichen Anwendungstermin BBCH 12-14 durchgeführt. Im Vergleich waren zu diesem Termin TBA-haltige Herbizidbehandlungen mit $\bar{\varnothing}$ 90 % gegenüber TBA-freien Behandlungen mit $\bar{\varnothing}$ 55 % GERSS-Wirkung deutlich überlegen. Höhere Wirkungsgrade gegen den Rundblättrigen Storchschnabel waren im Vergleich zum Kleinen Storchschnabel unabhängig von der Wirkstoffbasis der Behandlung gegeben. Bei den TBA-freien Behandlungen konnten lediglich Anwendungen auf der Basis von Dimethenamid-P das gleiche Wirkungsniveau wie TBA-haltige Behandlungen erreichen. Hierbei war ein Bekämpfungsvorteil von Anwendungen im Voraufauf bis zum Keimblattstadium der *Geranium*-Arten im Vergleich zu Nachaufaufbehandlungen im Laubblattstadium erkennbar.

Tab. 5 Storchschnabel-Wirkung von Herbizidbehandlungen in Mais.

Tab. 5 *Herbicide efficacy for the control of cranesbill in maize.*

Variante	Unkraut	Wirkung (rel. %)		Anzahl n
		MW	STABW	
Alle Behandlungen	GERPU	74	28	71
	GERRT	83	23	39
	GERSS	77	26	110
Alle Behandlungen - TBA-haltig	GERPU	86	14	40
	GERRT	97	5	22
	GERSS	90	13	62
Alle Behandlungen - TBA-frei	GERPU	55	32	29
	GERRT	66	26	17
	GERSS	59	30	46
Alle Behandlungen - in BBCH 12-14	GERPU	75	26	49
	GERRT	83	24	36
	GERSS	78	25	85
Alle Behandlungen - TBA-haltig, in BBCH 12-14	GERPU	86	15	35
	GERRT	97	5	22
	GERSS	90	13	57
Alle Behandlungen - TBA-frei, in BBCH 12-14	GERPU	48	29	14
	GERRT	62	26	14
	GERSS	55	28	28
Alle Behandlungen in BBCH 10-11	GERPU	87	16	11
Alle Behandlungen in BBCH 15-16	GERSS	62	35	14
Alle DMA-P-haltigen Behandlungen	GERSS	89	24	16

MW = Mittelwert; STABW = Standardabweichung; GERPU = *Geranium pusillum*; GERRT = *Geranium rotundifolium*; GERSS = *Geranium* spp.; TBA = Terbutylazin; BBCH = Entwicklungsstadium; DMA-P = Dimethenamid-P.

3.2 Ergebnisse aus den Klimakammer-Tests

Bei den Dosis-Wirkungsprüfungen von unterschiedlichen Raps-Herbiziden erreichten in der üblichen Standard-Dosis die besten Behandlungsvarianten lediglich ein Wirkungsniveau von 80 – 90 % gegenüber dem Schlitzblättrigen Storchschnabel. Die Wirkung gegen den Kleinen Storchschnabel war dagegen deutlich besser. Im Vergleich der Anwendungstermine war die Voraufaufbehandlung gegenüber der Nachaufaufanwendung im Keimblattstadium besser. Aufgrund der relativ hohen Streuung bei den Frischmassewerten konnte keine hohe Trennschärfe in der Varianzanalyse erreicht werden. Im Mittel war die Aktivität von Colzor Trio und Butisan Gold im Voraufauf und von Butisan Gold und dem Prüfmittel BAS 79801 H im NAK-Termin gegenüber den beiden untersuchten Storchschnabel-Arten am besten.

Tab. 6 Storchschnabel-Wirkung von Winterraps-Herbiziden im Klimakammer-Test.**Tab. 6** Efficacy of winter oilseed rape herbicides against cranesbill in a climate chamber test.

Präparat/Handelsname	Aufwand (l/ha)	Anwendung Termin	GERDI		GERPU	
			FM (rel. %)	SNK	FM (rel. %)	SNK
Nimbus CS	3,0	VA	59,9	b	3,7	gef
Butisan Top	2,0	VA	33,9	cd	11,2	d
Butisan Kombi	2,5	VA	25,7	def	3,3	gef
Quantum	2,0	VA	18,3	defg	3,1	gef
Colzor Trio	4,0	VA	12,1	gf	0,0	g
Butisan Gold	2,5	VA	7,1	g	1,0	gf
Butisan Top	2,0	NAK	47,3	cb	43,6	b
Butisan Kombi + Dash	2,5 + 1,0	NAK	30,3	cd	11,5	d
Butisan Kombi	2,5	NAK	30,1	cde	14,8	cd
Butisan Gold	2,5	NAK	27,5	cdef	20,3	c
BAS79801H* + Dash	2,0 + 1,0	NAK	16,2	defg	9,1	def
BAS79801H* + Dash	2,0	NAK	14,1	efg	7,0	def

FM = Sprossfrischmasse, relativ (%) zur unbehandelten Kontrolle; SNK = Student-Newman-Keuls (ANOVA) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$; VA = Vorauflauf; NAK = Nachauflauf im Keimblattstadium; GERPU = *Geranium pusillum*; GERDI = *Geranium dissectum*

Tab. 7 Storchschnabel-Wirkung von Getreide- und Mais-Herbiziden im frühen Nachauflauf im Klimakammer-Test.**Tab. 7** Efficacy of cereal and maize herbicides in early post emergence against cranesbill in a climate chamber test.

Präparat/Handelsname	Aufwand (l/ha)	ERDI		GERPU	
		FM (rel. %)	SNK	FM (rel. %)	SNK
Dual Gold	1,25	16,8	b	8,3	b
Spectrum	1,40	6,6	c	0,0	c
GLOB466*	0,25	2,1	c	0,0	c
Fenikan	3,00	2,0	c	0,0	c
Falkon	1,00	1,7	c	0,0	c
Terano fl.	1,00	1,7	c	2,2	c
Herold SC	0,60	1,1	c	0,0	c
Bacara Forte	1,00	0,0	c	0,0	c
Carmina 640	3,50	0,0	c	0,0	c
Click	2,00	0,0	c	0,0	c
Gardo Gold	4,00	0,0	c	0,0	c
BAS65701H*	3,00	0,0	c	0,0	c
Successor T	4,00	0,0	c	0,0	c

* = noch nicht registriertes Prüfmittel; FM = Sprossfrischmasse, relativ (%) zur unbehandelten Kontrolle; SNK = Student-Newman-Keuls ANOVA ($\alpha = 5\%$); GERPU = *Geranium pusillum*; GERDI = *Geranium dissectum*

Die Prüfung von Getreide- und Mais-Herbiziden wurde im Klimakammer-Test nach den Anwendungsterminen im frühen Nachauflauf (NAK, Tab. 7) und dem Nachauflauf im Laubblattstadium (Tab. 8) der *Geranium*-Arten zusammengefasst. Die frühe Behandlung im NAK-Stadium war generell gegenüber beiden Storchschnabel-Arten hoch effizient. Lediglich das gegen Hirse-Unkräuter zugelassene Mais-Herbizid Dual Gold zeigte eine signifikant schwächere Storchschnabel-Wirkung.

Bei den im späteren Nachauflauf bzw. im Laubblattstadium der *Geranium*-Arten geprüften Getreide- und Mais-Herbiziden trat eine stärkere Differenzierung zwischen den verschiedenen Präparaten und gegenüber den beiden *Geranium*-Arten auf. Gegenüber dem Kleinen Storchschnabel wurden im

Mittel leicht höhere Wirkungen beobachtet als gegen den Schlitzblättrigen Storchschnabel. Bei den Mais-Herbiziden zeigten die Präparate Clio Super, Calaris, Artett und Zeagran Ultimate die beste Wirkung gegenüber dem Schlitzblättrigen Storchschnabel. Dieses Ergebnis bestätigte sich auch bei der Prüfung gegenüber dem Kleinen Storchschnabel. Unter den Getreide-Herbiziden waren die Präparate Concert SX, Gropper SX und Artus in der Wirkung gegen den Schlitzblättrigen Storchschnabel besser. Gegen den Kleinen Storchschnabel konnten die Präparate Ariane C und Alistar ebenfalls eine gute Aktivität erreichen.

Tab. 8 Storchschnabel-Wirkung von Getreide- und Mais-Herbiziden im späten Nachauflauf im Klimakammer-Test.

Tab. 8 Efficacy of cereal and maize herbicides in late post emergence against cranesbill in a climate chamber test.

Präparat/Handelsname	Aufwand (kg bzw. l/ha)	GERDI		GERPU	
		FM (rel. %)	SNK	FM (rel. %)	SNK
Fox	1,00	47,9	b	28,7	c
DOW16330H*	0,30	41,3	bc	59,6	b
Absolute M	0,18	30,1	cd	9,6	ed
Lexus	0,02	25,2	ed	9,5	ed
BAS79801H* + Dash	2,00 + 1,00	25,0	ed	13,2	d
Laudis	2,25	23,6	ed	36,2	c
Falkon	1,00	15,7	e	10,2	ed
Ariane C	1,50	9,9	f	4,4	edf
Alistar	1,00	7,5	gf	6,7	edf
Clio Super	1,50	4,6	fgh	1,3	f
Concert SX	0,10	2,8	gh	10,3	ed
Gropper SX	0,04	2,7	gh	10,6	ed
Artus	0,05	2,0	h	2,6	ef
Calaris	1,50	1,1	h	4,7	edf
Artett	5,00	1,0	h	1,3	f
Zeagran Ultimate	2,00	1,0	h	1,3	f

* = noch nicht registriertes Prüfmittel; E = Einheit in l bzw. kg; FM = Sprossfrischmasse, relativ (%) zur unbehandelten Kontrolle; SNK = Student-Newman-Keuls ANOVA ($p = \alpha$ %); GERPU = *Geranium pusillum*; GERDI = *Geranium dissectum*

4. Diskussion

Geranium-Arten gehören inzwischen in vielen Anbauregionen Deutschlands zu den schwer bekämpfbaren Problemunkräutern. Die vorgestellten Ergebnisse in Feld- und Klimakammer-Versuchen zeigten die Möglichkeiten und Grenzen der Storchschnabel-Bekämpfung je nach Anwendungsbereich bzw. Kultur, Anwendungsverfahren, Herbizid und der jeweils zu bekämpfenden Storchschnabel-Art auf. Der Kleine Storchschnabel war gegenüber dem Rundblättrigen Storchschnabel und Schlitzblättrigen Storchschnabel leichter bekämpfbar. Für die Herbizidauswahl in der Anwendungspraxis hat diese unterschiedliche Sensitivität allerdings keine Bedeutung, da nur der Einsatz der Herbizide mit bester Aktivität eine ausreichende Kontrolle gewährleistet. Hinsichtlich des Anwendungsverfahrens bzw. Anwendungstermins wurde vom Voraufbau über den Nachauflauf im Keimblattstadium bis zum Nachauflauf im Laubblattstadium eine zunehmend schwierigere chemische Kontrolle von *Geranium*-Arten, unabhängig vom Anwendungsgebiet bzw. der jeweiligen Kultur, festgestellt. In der Produktionspraxis sind daher bei Bekämpfungsproblemen mit *Geranium*-Arten möglichst frühe Herbizidbehandlungen zu bevorzugen. In Wintergetreide ermöglicht die Anwendung verschiedener praxisüblicher Breitband-Bodenherbizide im Herbst eine sehr sichere Storchschnabel-Wirkung. Im Frühjahr besitzen Herbizide auf der Basis von Metsulfuron und Diflufenican Vorteile zur Storchschnabel-Behandlung. Im Winterraps sind Voraufbaubehandlungen auf der Basis von Dimethenamid-P für eine ausreichende Storchschnabel-Bekämpfung unverzichtbar. Im Maisanbau ist Terbutylazin ein wesentlicher Wirkstoff zur ausreichenden Kontrolle von *Geranium*-Arten. Als vergleichbar leistungsfähige Alternative kann auf Dimethenamid-P zurück gegriffen werden.

Um die in Folge des Klimawandels und der veränderten Produktionstechnik verbesserten Ausbreitungs- und Entwicklungsmöglichkeiten von *Geranium*-Arten zu kompensieren, ist neben der gezielten Herbizidauswahl eine angepasste Fruchtfolgegestaltung für die nachhaltige Kontrolle von Storchschnabel-Arten von wesentlicher Bedeutung.

Literatur

- GOERKE, K., U. RICHTER, M. SCHULTE UND B. GEROWITT, 2008: REGIONALE UNTERSCHIEDE IN DER RAPSUNKRAUTFLORA DEUTSCHLANDS. GESUNDE PFLANZEN **60**, 151-158.
- HANZLIK, K. UND B. GEROWITT, 2010: VERÄNDERN PFLUGLOSE BODENBEARBEITUNG UND FRÜHSAATEN DIE UNKRAUTVEGETATION IM WINTERRAPS? GESUNDE PFLANZEN **62**, 1-9.
- HOLZNER, W. UND J. GLAUNINGER, 2005: ACKERUNKRÄUTER – BESTIMMUNG, BIOLOGIE UND LANDWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG. LEOPOLD STOCKER, GRAZ – STUTTGART.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE UND K. HURLE, 2005: UNKRAUTFLORA IN MAIS – ERGEBNISSE EINES MONITORINGS IN DEUTSCHLAND. GESUNDE PFLANZEN **57**, 206-218.
- PETERS, K. UND B. GEROWITT, 2011: AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE UNKRAUTARTEN IM RAPS. RAPS **29**, 8-10.
- PETERS, K., S. POREMBSKI UND B. GEROWITT, 2009: ENTWICKLUNG, SAMENBILDUNG UND BIOMASSEPRODUKTION AUSGEWÄHLTER PROBLEMUNKRÄUTER IN RAPSHALBZWERGHYBRIDEN. GESUNDE PFLANZEN **61**, 101-106.
- RÄDER, T., M. SCHULTE, M. STEINHEUER UND F. STUKE, 2010: VORKOMMENSHÄUFIGKEIT VERSCHIEDENER UNKRAUT- UND UNGRASARTEN IN MAIS. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 327

Comparison of genetic diversity in two alien plant species

Vergleich der genetischen Vielfalt von zwei nicht-einheimischen Pflanzenarten

Virginija Tunaitienė^{1*}, Jolanta Patamsytė¹, Tatjana Čėsniienė¹, Violeta Kleizaitė¹, Donatas Naugžemys², Vytautas Rančelis¹ & Donatas Žvingila¹

¹Department of Botany and Genetics, Vilnius University, M. K. Čiurlionio 21, Vilnius, Lithuania

²Botanical Garden of Vilnius University, Kairėnų 43, Vilnius, Lithuania

*Corresponding author, virginija.augėnaite@gf.stud.vu.lt

DOI: 10.5073/jka.2012.434.088

Summary

Bunias orientalis and *Erigeron annuus* are two alien herbal plant species invading native ecosystems in Lithuania. Both species have similar introduction and invasion history but differ in their life history traits and strategies of reproduction. We used random amplified polymorphic DNA (RAPD) data to compare the genetic diversity in invasive populations of these species. 42 RAPD bands were identified in *B. orientalis* and 70 RAPD bands in *E. annuus*. All six populations of *B. orientalis* were polymorphic, while only four of eight study populations of *E. annuus* were polymorphic. The highest differences between species were established at the level of RAPD phenotypes. 67 RAPD phenotypes were found among 90 plants of *B. orientalis* but only 10 RAPD phenotypes were identified among 89 plants of *E. annuus*. This study shows that the level of genetic diversity in populations of different invasive species at the same geographic area may vary considerably.

Keywords: *Bunias orientalis*, *Erigeron annuus*, genetic diversity, RAPD phenotype

Zusammenfassung

Bunias orientalis und *Erigeron annuus* sind zwei nicht-einheimische Pflanzenarten, die in litauische natürliche Ökosysteme eindringen. Eindringungs- und Invasionswege beider Arten sind ähnlich. Unterschiede liegen in den Entwicklungs- und Reproduktionsbesonderheiten. In dieser Arbeit haben wir anhand der Ergebnisse von random amplified polymorphic DNA (RAPD) die genetische Vielfalt von verschiedenen Populationen dieser nicht-einheimischen Arten verglichen. 42 RAPD Banden wurden bei *B. orientalis* und 70 bei *E. annuus* festgestellt. Alle sechs *B. orientalis*-Populationen waren polymorph; bei *E. annuus* waren es nur vier von acht Populationen. Die größte Differenz zwischen den Arten zeigten die RAPD-Phänotypen. Bei 90 *B. orientalis*-Pflanzen wurden 67 RAPD-Phänotypen identifiziert aber nur 10 RAPD-Phänotypen bei 89 *E. annuus*-Pflanzen. Die Ergebnisse zeigen, dass die genetische Vielfalt der nicht-einheimischen Pflanzenarten auf demselben geographischen Territorium wesentliche Unterschiede aufweisen kann.

Stichwörter: *Bunias orientalis*, *Erigeron annuus*, genetische Vielfalt, RAPD-Phänotypen

1. Introduction

Genetic diversity is important for the adaptation of plant species to changing environments. The role of this genetic factor may be critical for plants that are introduced into new areas located thousand kilometers from the native range of the species. Though the impact of genetic diversity on the invasion success is the topic of many studies, it still remains relevant (LAMBRINOS, 2001; BARRETT et al., 2008). Many invasive species have a reduced genetic variation in their introduced ranges, while many others do not (DLUGOSCH and PARKER, 2008). According to theoretical predictions, alien plant species suffer from reduction in genetic diversity provoked by founder effects. In an analytic review of numerous studies of invasive organisms, DLUGOSCH and PARKER (2008) assert that there are significant losses of both allelic richness and heterozygosity in introduced populations. On the other hand, there is now growing recognition that in the time of invasion lag phase, genetic changes take place and restore the certain level of genetic diversity which is necessary for alien species to invade native ecosystems at a new range (ELLSTRAND and SCHIERENBECK, 2000; SCHIERENBECK and ELLSTRAND, 2009; WARD et al., 2009). The level of genetic diversity of populations is also shaped by plant life history traits, especially the breeding system (HAMRICK and GODT, 1996). Biological peculiarities of species may influence the threshold of genetic diversity necessary for expansion in a new area. In this work, we studied the level of genetic diversity in two alien herbal plant species invading native ecosystems in Lithuania. *Bunias orientalis* L. (Brassicaceae) is a perennial grass currently invasive in Central Europe

and common in Lithuania (GUDŽINSKAS, 1997; BIRNBAUM, 2006). It is native to Caucasus and southern Russia (BIRNBAUM, 2006). This outcrossing species is pollinated by different insects. *B. orientalis* can reproduce sexually by seeds and vegetatively via fragments of roots (STEINLEIN and DIETZ, 2002). In contrast, *Erigeron annuus* (Asteraceae) is an apomictic winter annual, producing large numbers of minute seeds that are genetically identical to the mother plant. This species is originated from North America. In the 17th century, it was introduced to Europe (EDWARDS et al., 2006). Most populations of *E. annuus*, however, contain several genotypes that can reproduce sexually (EDWARDS et al., 2006). Both species were introduced in Lithuania at the end of 19th century (GUDŽINSKAS, 1997) and now are in the phase of rapid spreading. To compare the genetic diversity in sexual (*B. orientalis*) and agamosperous (*E. annuus*) species, we used the RAPD technique which shows sufficiently high resolution in discriminating closely related genotypes of both species (DIETZ et al., 1999; EDWARDS et al., 2006).

2. Materials and methods

2.1 Population sampling

Plants were collected from six populations of *Bunias orientalis* and eight populations of *Erigeron annuus*. The total number of studied plants for each species was similar: 90 plants of *B. orientalis* and 89 plants of *E. annuus*.

2.2 DNA extraction, RAPD-PCR and electrophoresis

DNA was extracted from young leaves using cethyl-trimethyl-amonium bromide (CTAB; DOYLE and DOYLE, 1990). DNA samples were quantified with „BioPhotometer“ and diluted with TE buffer to concentration of 10 ng/μL. Each 20 μL RAPD-PCR reaction volume contained 2 μL 10xPCR buffer, 200 μM dNTPs, 1 unit Taq polymerase, 300 μM MgCl₂, 0.4 μM of the primer and 20 ng of template DNA. The RAPD-PCR were carried out for 4 min at 94 °C, followed by 45 cycles of 1 min at 94 °C, 1 min at 35 °C, and 1 min at 72 °C, followed by a final extension step of 5 min at 72 °C. RAPD-PCR products were resolved on a 1.5 % agarose gel (4 V/cm for 4 h) and stained with ethidium bromide. All reactions were repeated at least twice. A negative control sample containing all components of PCR mixture except the genomic DNA was included to ensure that no contamination occurred. Only clear and reproducible DNA bands were scored for analysis. To increase the accuracy of scoring, RAPD profiles of five individuals of different populations were analysed side-by-side in the same agarose gel.

2.3 Data analysis

Amplified bands were scored in a size range from 0.46 to 2.1 kb. A binary data matrix of RAPD phenotypes was constructed. The presence of the DNA fragment (allele) was represented with “1” and the absence was represented with “0”. Differences in RAPD phenotypes of study individuals were used to calculate genetic distance. The POPGENE v.1.32 software (YEH et al., 1999) was used to calculate parameters of molecular diversity within populations: Nei’s gene diversity, the percentage of polymorphic loci (P) and Shannon’s diversity index (I). An unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) cluster analysis based on pairwise genetic distances (NEI and LI, 1979) was used to assess genetic relationships among accessions and to present the results as dendrograms. Bootstrap analysis was performed using TRECON for Windows (VAN DE PEER and DE WACHTER, 1994) with 1000 replicates to evaluate the reliability of the dendrograms topology.

3. Results

3.1 Genetic diversity estimates of *B. orientalis*

Using RAPD analysis with three primers, we identified 42 reliable DNA bands in *B. orientalis* (Tab. 1). The number of RAPD bands resolved by one primer ranged from 13 to 15. 66 % of loci polymorphic was at species level. The size of DNA bands varied from 520 to 1500 bp. The polymorphism of plants from individual populations was lower. 60.7 % of polymorphic bands were detected in the Belmontas population, 39.3 % in the Seredžius population, 42.7 % in the Darsūniškis population, 46.4 % in the Viduklė population, 42.9 % in the Vilnius population and 39.3 % in the Vilkpėdė population (Tab. 2).

Tab. 1 Sequences of RAPD primers used in the study of *B. orientalis* and polymorphism of scored DNA bands.

Tab. 1 Für die Untersuchungen von *B. orientalis* verwendete RAPD-Primer mit jeweiligen Primersequenzen und Polymorphismus von ausgewählten DNA-Fragmenten.

Primer	Sequence 5'→3'	Size of DNA bands (bp)	Number of DNA bands		Polymorphism, %
			polymorphic	monomorphic	
Roth A03	AGTCAGCCAC	520-1150	12	3	80
Roth A04	AATCGGCTG	580-1100	10	4	71
Roth A05	AGGGGTCTG	800-1500	6	7	46
		Sum	28	14	
		Average	9.33±3.06	4.67±2.08	66±17.62

The mean value of polymorphism within populations was $45.24 \pm 8.0\%$. The summary value of genetic variation of Shannon index for all loci determined on the basis of RAPD analysis was 0.227 ± 0.036 . The highest level of DNA polymorphism was exhibited by the Belmontas population, the lowest variability was detected in the Vilkpėdė and Seredžius populations. The extreme values of Nei's genetic diversity were established also in the Belmontas (0.185) and Vilkpėdė population (0.135). The UPGMA cluster analysis was carried out on the basis of estimated genetic distances and dendrograms were drawn which show the genetic relationships among individual plants studied (Fig.1). The RAPD-based dendrograms show that clusters are heterogeneous; they are composed of small groups of genetically related individuals. Some plants from different populations showed identical RAPD phenotypes, which means that the level of DNA polymorphism in populations was not high. On the other hand, the use of three primers could be insufficient to discriminate all individuals. The clustering of genotypes in the dendrograms was independent of geographical distance among populations.

Tab. 2 Estimates of genetic diversity at RAPD loci of *B. orientalis* populations.

Tab. 2 Genetische Variabilität der RAPD-Loci von *B. orientalis*-Populationen.

Population	Plants per population	Number of RAPD phenotypes	P ¹ %	h ²	I ³
Belmontas	20	18	60.7	0.185	0.280
Seredžius	20	14	39.3	0.116	0.178
Darsūniškis	14	14	42.7	0.145	0.217
Viduklė	14	13	46.4	0.167	0.248
Vilnius	8	7	42.9	0.165	0.240
Vilkpėdė	14	9	39.3	0.135	0.201
Average			45.24±8.0		
Summary of genetic variation statistics for all loci				0.152±0.025	0.227±0.036

1 – percentage of polymorphic loci, 2 – Nei's (1973) gene diversity, 3 – Shannon's information index

3.2 RAPD variation in *E. annuus*

70 RAPD bands were detected by the three primers in 89 plants of *E. annuus*. Approximately 77 % of these bands were polymorphic at species level (Tab. 3).

Tab. 3 Sequences of the RAPD primers used in the study of *E. annuus* and the polymorphism of scored DNA bands.

Tab. 3 Für die Untersuchungen von *E. annuus* verwendete RAPD-Primer mit den jeweiligen Sequenzen und Polymorphismus von gewählten DNA-Fragmenten.

Primer	Sequence 5'→3'	Size of DNA bands (bp)	Number of DNA bands		Polymorphism, %
			polymorphic	monomorphic	
Roth A 03	AGTCAGCCAC	460-1700	20	3	87
Roth A 04	AATCGGGCTG	480-1750	19	7	73
Roth A 05	AGGGGTCTTG	460-2100	15	6	71
		Sum	54	16	
		Average	18±2.65	5.33±2.08	77±8.72

The size of scored bands was in the range of 460-2100 bp. The comparison of the study populations showed that only half of them were polymorphic (Užutrakis, Vilnius B, Jurbarkas, Lielius). The other four populations (Vilnius A, Vilnius C, Kulautuva, Betygala) were monomorphic (Tab. 4).

Tab. 4 Estimates of genetic diversity at RAPD loci of *E. annuus* populations.

Tab. 4 Genetische Variabilität der RAPD-Loci von *E. annuus*-Populationen.

Population	Plants per population	Number of RAPD phenotypes	P ¹ %	h ²	I ³
Užutrakis	20	2	46.3	0.183	0.270
Vilnius A	20	1	0	0	0
Vilnius B	14	2	61.1	0.253	0.370
Jurbarkas	14	2	44.4	0.122	0.188
Lielius	8	3	27.8	0.115	0.165
Vilnius C	14	1	0	0	0
Kulautuva	12	1	0	0	0
Betygala	12	1	0	0	0
Average			22.5±25.6		
Summary of genetic variation statistics for all loci				0.0841±0.2	0.1242±0.146

1 – the percentage of polymorphic loci, 2 – Nei's (1973) gene diversity, 3 – Shannon's information index

The UPGMA dendrogram constructed using the Nei and Li (1979) genetic distance coefficient is shown in Figure 1. Among 89 plants included in this study, only 10 RAPD phenotypes (clones) were identified. One RAPD phenotype was identified in four populations. Vilnius A, Vilnius C and Kulautuva populations were composed of the same clone. This RAPD phenotype was detected also in Lielius population together with two more RAPD phenotypes. Other populations consisted of one to three clones. For example, the Betygala population was made of one clone whereas the Vilnius B population was made of two clones.

4. Discussion

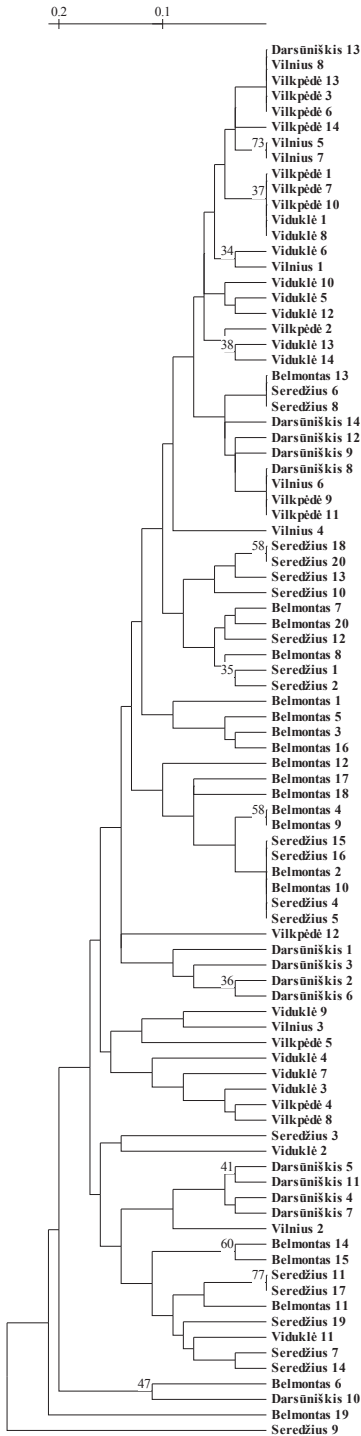
Study of genetic variation in two alien species with different mode of reproduction and similar history of spreading in Lithuania showed rather high level of RAPD loci polymorphism at species level in both species: *B. orientalis*: 66 % and *E. annuus*: 77 %. In the present study, we used a rather small number of primers for the analysis. Nevertheless, these three primers were preselected from 26 primers by the

number and reproducibility of DNA bands. Using these primers, 42 RAPD bands were identified in *B. orientalis* and 70 RAPD bands in *E. annuus*. Similar number of primers was used by EDWARDS et al. (2006) in the study of North American and European populations of *E. annuus*. These authors analyzed 39 stable polymorphic RAPD bands produced using two primers. The number of identified RAPD phenotypes in populations of sexually reproducing species *B. orientalis* and apomictic species *E. annuus* was very different. 67 RAPD phenotypes were identified among 90 plants of *B. orientalis*, while in *E. annuus*, only 10 RAPD phenotypes were identified among 89 accessions. Average polymorphism of RAPD loci in populations of *B. orientalis* was also two times higher (45.2 %) than in populations of *E. annuus* (22.5 %). Half of the populations of *E. annuus* analyzed in this study were monomorphic. Other four populations consisted of 2-3 clones (Fig. 2). It is worth noting that genetic distances (GD_{xy}) among these clones were high. For this reason, DNA polymorphism of RAPD loci in such polymorphic populations was also rather high, e. g. 61.1 % in Vilnius B population which consisted of two clones (GD_{xy} = 0.72). However, in spite of lack of genetic diversity in most populations, the contemporary situation of this species in Lithuania shows very good performance in local conditions. *E. annuus* is in a phase of intensive spreading which started in Lithuania about three decades ago. Apomixis in this species may maintain so called 'general purpose' genotypes with broad environmental tolerance which enables *E. annuus* to colonize a wide range of habitats (BAKER, 1965; TRTIKOVA et al., 2011). It is well known that, despite the reduction of genetic variation, some invasive populations show increased growth rate and intensive expanding (LI et al., 2006; DLUGOSCH and PARKER, 2008). The spreading of *B. orientalis* also takes place in Lithuania. In the third volume of the Flora of the Lithuanian SSR (1961), this species is considered as rather rare. Now it is common in some habitats such as flooded meadows and railways surroundings (GUDŽINSKAS, 1997; BIRNBAUM, 2006). Obviously, the success or failure of establishment of a species in a given environment depends on the interaction of the genotype and the environment (ELLSTRAND, 2009). There are many factors influencing invading process and they may differ among species. However genetic diversity as a parameter of species genetic pool in given territory is important for the invasion. Our pilot study shows that the level of genetic diversity at which the species can start invasive spreading in to native ecosystems may be species specific.

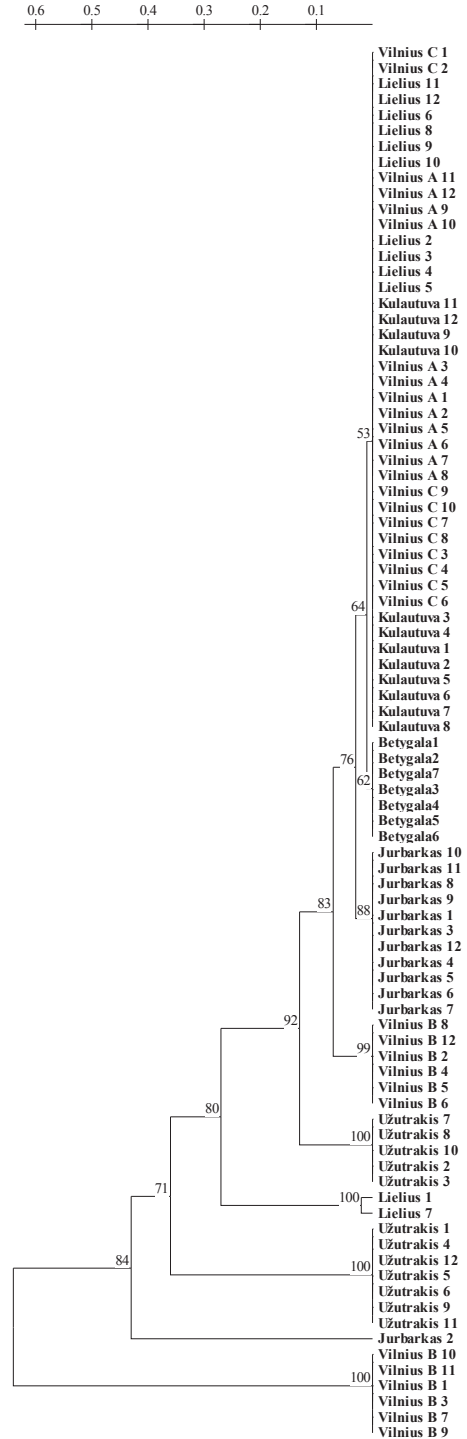
Following page:

Fig. 1 UPGMA dendrograms of *B. orientalis* (A) and *E. annuus* (B) accessions, constructed using RAPD based genetic distance matrixes, estimated according to NEI and LI (1979). The top x-axis indicates values of Nei and Li's genetic distance coefficient. The numbers on the branches indicate bootstrap values above 30 % (1000 replications).

Abb. 1 UPGMA-Dendrogramme für *B. orientalis* (A) und *E. annuus* (B) zusammengestellt anhand der durch RAPD erhaltenen genetischen Distanzmatrixen und berechnet nach NEI und LI (1979). Die x-Achse zeigt die Werte der Koeffizienten der genetischen Distanz von Nei und Li. Zahlen über den Dendrogrammzweigen bezeichnen bootstrap-Werte über 30 % (1000 Wiederholungen).



A



B

Acknowledgements

This research was founded by Research Grant (No. LEK 04/2010 Herbainvazgen) from the Research Council of Lithuania.

References

- BAKER, H.G., 1965: CHARACTERISTICS AND MODES OF ORIGINS OF WEEDS. IN: BAKER, H.G. AND G.L. STEBBINS (EDS.): THE GENETICS OF COLONIZING SPECIES, PP. 141-172. ACADEMIC PRESS, LONDON.
- BARRET, S.C.H., R.I. COLAUTTI AND C.G. ECKERT, 2008: PLANT REPRODUCTIVE SYSTEMS AND EVOLUTION DURING BIOLOGICAL INVASION. *MOLECULAR ECOLOGY* **17**, 373-383.
- BIRNBAUM, C., 2006: NOBANIS – INVASIVE ALIEN SPECIES FACT SHEET – *BUNIAS ORIENTALIS*. - FROM: ONLINE DATABASE OF THE NORTH EUROPEAN AND BALTIC NETWORK ON INVASIVE ALIEN SPECIES – NOBANIS [WWW.NOBANIS.ORG](http://www.nobanis.org). 10/11/2011.
- DIETZ, H., T. STEINLEIN AND I. ULLMANN, 1999: ESTABLISHMENT OF THE INVASIVE PERENNIAL HERB *BUNIAS ORIENTALIS* L.: AN EXPERIMENTAL APPROACH. *ACTA OECOLOGIA* **20**, 621-632.
- DLUGOSCH, K.M. AND I.M. PARKER, 2008: FOUNDING EVENTS IN SPECIES INVASIONS: GENETIC VARIATION, ADAPTIVE EVOLUTION, AND THE ROLE OF MULTIPLE INTRODUCTIONS. *MOLECULAR ECOLOGY* **17**, 431-449.
- DOYLE, J.J. AND J.L. DOYLE, 1990: ISOLATION OF PLANT DNA FROM FRESH TISSUE. *FOCUS* **12**, 13-15.
- EDWARDS, P.J., D. FREY, H. BAILER AND M. BALTISBERGER, 2006: GENETIC VARIATION IN NATIVE AND INVASIVE POPULATIONS OF *ERIGERON ANNUUS* ASSESSED BY RAPD MARKERS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PLANT SCIENCES* **167**, 93-101.
- ELLSTRAND, N.C. AND K.A. SCHIERENBECK, 2000: HYBRIDIZATION AS A STIMULUS FOR THE EVOLUTION OF INVASIVENESS IN PLANTS. *PNAS* **97**, 7043-7050.
- ELLSTRAND, N.C., 2009: EVOLUTION OF INVASIVENESS IN PLANTS FOLLOWING HYBRIDIZATION. *BIO INVASIONS* **11**, 1089-1091.
- GUDŽINSKAS, Z., 1997: CONSPICUOUS ALIEN PLANT SPECIES OF LITHUANIA. 3. *BRASSICACEAE*. *BOTANICA LITHUANICA* **3**, 215-249.
- HAMRICK, J.L. AND M.J.W. GODT, 1996: EFFECTS OF LIFE HISTORY TRAITS ON GENETIC DIVERSITY IN PLANT SPECIES. *PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY LONDON B* **351**, 1291-1298.
- JANKEVIČIENĖ, R., 1961: *BUNIAS ORIENTALIS*. IN: NATKEVIČAITĖ–IVANAUSKIENĖ, M. (ED.), 1961: LIETUVOS TSR FLORA, PP. 528-530. VALSTYBINĖ POLITINĖS IR MOKSLINĖS LITERATŪROS LEIDYKLA, VILNIUS.
- LAMBRINOS, J.G., 2001: THE EXPANSION HISTORY OF A SEXUAL AND ASEXUAL SPECIES OF *CORTADERIA* IN CALIFORNIA, USA. *JOURNAL OF ECOLOGY* **89**, 88-98.
- LI, W., B. WANG AND J. WANG, 2006: LACK OF GENETIC VARIATION OF AN INVASIVE CLONAL PLANT *EICHHORNIA CRASSIPES* IN CHINA REVEALED BY RAPD AND ISSR MARKERS. *AQUATIC BOTANY* **84**, 176-180.
- NEI, M AND W.H. LI, 1979: MATHEMATICAL MODEL FOR STUDYING GENETIC VARIATION IN TERMS OF RESTRICTION ENDONUCLEASES. *PNAS* **76**, 5269-5273.
- SCHIERENBECK, K.A. AND N.S. ELLSTRAND, 2009: HYBRIDIZATION AND THE EVOLUTION OF INVASIVENESS IN PLANTS AND OTHER ORGANISMS. *BIOLOGICAL INVASIONS* **11**, 1093-1105.
- STEINLEIN, T. AND H. DIETZ, 2002: DON'T DO ANYTHING? IMPLICATIONS OF INTENSIVE BASIC RESEARCH FOR SUCCESSFUL MANAGEMENT OF THE INVASIVE ALIEN PLANT SPECIES *BUNIAS ORIENTALIS* L. (*BRASSICACEAE*). *NEOBIOTA* **1**, 159-160.
- TRTIKOVA, M., S. GÜSEWELL, M. BALTISBERGER AND P.J. EDWARDS, 2011: DISTRIBUTIONS, GROWTH AND GENETIC VARIATION OF *ERIGERON ANNUUS* IN THE SWISS ALPS. *BIO INVASIONS* **13**, 413-422.
- VAN DE PEER, Y. AND R. DE WACHTER, 1994: TREECON FOR WINDOWS: A SOFTWARE PACKAGE FOR THE CONSTRUCTION AND DRAWING OF EVOLUTIONARY TREES FOR THE MICROSOFT WINDOWS ENVIRONMENT. *COMPUTER APPLICATIONS IN THE BIOSCIENCES* **10**, 569-570.
- WARD, S.M., C.E. FLEISCHMANN, M.F. TURNER AND S.E. SING, 2009: HYBRIDIZATION BETWEEN INVASIVE POPULATIONS OF DALMATIAN TOADFLAX (*LINARIA DALMATICA*) AND YELLOW TOADFLAX (*LINARIA VULGARIS*). *INVASIVE PLANT SCIENCE AND MANAGEMENT* **2**, 369-378.
- YEH, F.C., R.C. YANG AND T. BOYLE, 1999: POPGENE 32-VERSION 1.31. POPULATION GENETICS SOFTWARE.

The effect of duration of solarization on controlling branched broomrape (*Phelipanche ramosa* L.) and some weed species

Der Effekt der Solarisationsdauer auf ästigen Sommerwurz (*Phelipanche ramosa* L.) und einige andere Unkrautarten

Özhan Boz*, Mehmet Nedim Doğan & Derya Ögüt

Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, Dept. of Plant Protection, 09100-Aydin/Turkey

*Corresponding Author, ozhanboz@yahoo.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.089

Summary

In this study, the effects of two-, four- and six-week periods of solarization on *Phelipanche ramosa* and other weeds were determined in tomato greenhouses between 2007-2009 in Aydin Province/Turkey. In the first year, the maximum temperatures recorded in the soil in the solarized area were 54 °C at a depth of 5 cm, 47 °C at 10 cm and 41 °C at 20 cm. In the second year, the maximum temperatures in the solarized area were 44.5 °C at 5 cm, 39.7 °C at 10 cm and 34.7 °C at 20 cm. In the first season, regardless of solarization time, solarization reduced the density of *Amaranthus viridis*, *Setaria verticillata*, *Urtica urens*, *Solanum nigrum*, *Portulaca oleracea*, *Chenopodium album* and *Stellaria media* by 99-100 %. Solarization's effect on *P. ramosa* was 100 % regardless of the duration of solarization. In the second year, 2-, 4- and 6-week solarization periods, respectively, reduced *A. viridis* by 67, 73 and 93 %; *S. verticillata* by 78, 80 and 94 %; *U. urens* by 99, 100 and 100 %; and *S. media* by 100 % for all treatments. When *P. ramosa* was examined, a 2-week solarization period was found to result in a 20 % decrease and a 4-week solarization period resulted in a 47 % decrease. Six weeks of solarization reduced *P. ramosa* by 74 %. Additionally, there was an increase in tomato yield in response to longer periods of solarization.

Keywords: Broomrape, solarization, weed control

Zusammenfassung

Bei den Versuchen zwischen 2007 und 2009 in Aydin, Türkei wurde die Wirkung von zwei, vier- und sechswöchiger Bodensolarisation auf eine parasitierende Unkrautart *Phelipanche ramosa* und andere Unkrautarten untersucht. Im ersten Versuchsjahr waren die maximalen Bodentemperaturen bei 5, 10 und 20 cm Bodentiefe 54, 47 bzw. 41 °C. Im zweiten Versuchsjahr wurden niedrigere Temperaturen erreicht, so dass bei 5, 10 und 20 cm Bodentiefe die maximalen Temperaturen 44,5, 39,7 bzw. 34,7 °C betragen. Ergebnisse zeigten, dass beim ersten Versuch *P. ramosa* bei allen Bodensolarisationsdauer zu 100 % kontrolliert wurde. Ebenfalls wurden andere Arten wie *Amaranthus viridis*, *Setaria verticillata*, *Urtica urens*, *Solanum nigrum*, *Portulaca oleracea*, *Chenopodium album* und *Stellaria media* bei 99-100 % kontrolliert. Beim zweiten Versuch war die Wirkung der Solarisation abhängig von der Dauer. Beim *A. viridis* erzielte 2-, 4- und 6-wöchige Solarisation eine Wirkung von 67, 73 bzw. 93 %. *S. verticillata* Bekämpfung war 70, 80 und 94 % bei 2-, 4- und 6-wöchige Solarisation. *U. urens* und *S. media* Bekämpfung lag bei 99-100 % unabhängig von der Solarisationsdauer. Bei *P. ramosa* 2-, 4 und 6-wöchige Solarisation erzielten 20, 47 und 74 % Wirkung. Der Tomatenertrag war höher mit verlängerter Solarisationsdauer.

Stichwörter: Solarisation, Sommerwurz, Unkrautbekämpfung

1. Introduction

Tomatoes are produced in a considerable number of fields in Turkey. Weeds, diseases and insects cause significant damage to tomato production in fields and greenhouses. In tomato greenhouses in Western Anatolia/Turkey, 51 weed species were found in Mugla, 34 species in Denizli and 30 species in Aydin. *Amaranthus* spp. was the most abundant species in the three provinces. *Portulaca oleracea*, *Chenopodium album*, *Trifolium* spp., *Cyperus rotundus*, *Setaria verticillata* and *Stellaria media* were dominantly found in all three provinces (BOZ et al., 2008). *Phelipanche ramosa* (Syn: *Orobancha ramosa*) is also an important problem in some cultivation areas. KROSCHER (2001) stated that the most important *Orobancha* spp. include *O. crenata*, *O. cumana*, *O. cernua*, *O. ramosa*, *O. aegyptiaca*, *O. minor* and *O. foetida*. These species parasitize plants belonging to the Asteraceae, Fabaceae and Solanaceae families (KROSCHER, 2001). *O. ramosa* and *O. aegyptiaca* complex was found in Mugla, Denizli and Aydin

provinces/Turkey (BOZ et al., 2008). NEMLI and DEMIRKAN (1988) stated that *O. ramosa* has been a problem in tomato fields in the past and will continue to be a problem in the future. OREL-AKSOY and UYGUR (2003) conducted weed surveys in tomato greenhouses in the East Mediterranean Region of Turkey and found *Orobancha* species as *O. ramosa* and *O. aegyptiaca*. ABDALLAH et al. (1999) stated that *O. ramosa* was found in industrial tomato and potato in Algeria. In Egypt, about 50 % of the yield of tomato was lost due to the attachment of *O. ramosa* and *O. aegyptiaca* (HASSANEIN and SALIM, 1999). MÜLLER-STÖVER et al. (1999) noted that *Orobancha* species were present in 50 % of the surveyed tomato fields in Egypt. ABDALLA and DABROWSKI (1997) stated that the yield of winter tomato crops heavily infested with broomrape was decreased by 40-80 %.

Soil solarization refers to the process of covering soil with a transparent sheet during the appropriate period. A transparent sheet is the modern tool used to capture solar energy to heat the soil in an open field or a greenhouse (KATAN and DEVAY, 1991). With solarization, soil is mulched during the hottest months (in Turkey, generally June to August) in an attempt to increase the maximum temperature to lethal. This is an environmentally friendly soil disinfection method that keeps weed seeds, soil-borne diseases and nematodes under control and improves soil productivity as it has no risk to live residues. This method can also be regarded as economical, depending on the plant being cultivated (KATAN and DEVAY, 1991). During solarization, the maximum and minimum temperatures of the air and their duration, the speed of wind and its duration, the texture, color, and moisture content of the soil and the characteristics of polyethylene are the more important components affecting the level of control (STAPLETON, 1996). PARKER (1994) stated that in Crete, *Orobancha* has been controlled by solarization and methyl bromide. In Israel, *Orobancha* was controlled by solarization and some fumigation. Farmers in Jordan have also used solarization to control *Orobancha*.

In order to explore the problems experienced by tomato producers, this study aimed to determine the effect of two-, four- and six-week solarization periods on *Phelipanche ramosa* (Syn: *Orobancha ramosa*) and other weeds in tomato greenhouse.

2. Material and Methods

Experiments were carried out between 2007 and 2009 in two tomato-growing seasons using greenhouses in Germencik in the Aydin province located in western Turkey (37° 51' N, 27° 50' E; an altitude of about 57 masl).

In order to determine the effect of different duration of solarization (two, four and six weeks) on the control of *P. ramosa* and some weeds, plots were established according to a randomized complete block design, with four replications. Each plot was 5.5 m * 5.5 m = 30.25 m². The study was repeated twice. The soil was flood-irrigated and treatments were applied as follows: Soil was prepared using a moldboard plough followed by a disk harrow, and beds were prepared on moistened soil. Plots were covered manually with clear polyethylene sheets (0.1 mm), including the soil between the raised beds. In order to prevent the loss of heat that results from the application of clear polyethylene to the plot, the borders of the plots were carefully covered. The periods of solarization in the first experiment began on 24 June 2007 for 6 weeks, 8 July 2007 for 4 weeks and 22 July 2007 for 2 weeks; all solarization periods ended 5 August 2007. The second experiment began on 7 July 2008 for 6 weeks, 21 July 2008 for 4 weeks and 4 August 2008 for 2 weeks of solarization; all periods ended 17 August 2008. After the solarization periods for the first experiment were completed, tomato seedlings (cv. Selin) were planted on 06 September 2007. In the second experiment, seedlings (cv. Pegasus) were planted on 26 August 2008. Drip irrigation was used to irrigate the plants in all of the experiments.

2.1 Soil temperature

Soil temperature was recorded in solarized and untreated control plots at depths of 5, 10 and 20 cm for two years using a data logger (HOBO® data logger U12-006, Bourne, MA, USA). The data for 16:00 are given in Table 1.

2.2 Evaluation of the effect of the treatments on weed species

In order to determine the effect of the different durations of solarization on other weeds, the weeds were counted four times in every plot within a 50 cm * 50 cm = 0.25 m² wooden-frame and converted to 1 m². In order to avoid a border effect, the counted area began 0.5 m from the edge of the plot. All *P. ramosa* in the 4.5 m * 4.5 m (20.25 m²) area were carefully uprooted. The effectiveness of the treatments on *P. ramosa* was evaluated by counting the broomrape shoots after the plant was obtained from the soil.

2.3 Evaluation of the effect of the treatments on tomatoes

In order to determine the effect of the treatments on tomato yields, 20 plants from two inner rows starting 0.5 m from the edge of the plot were marked. The mature fruit of the marked plants was collected and the weight of the fruits was recorded. The means of the 20 plants are reported.

2.4 Statistical analyses

Analyses of variance were conducted using SPSS statistical software (version 14.00). Comparisons of means were performed using with Tukey's test at an $\alpha = 0.05$ level.

3. Results

3.1 Soil Temperature

The maximum temperature of the soil during solarization was recorded as 54 °C at a depth of 5 cm in 2007. The maximum temperature was 48 °C in areas in which no solarization was applied. At a depth of 10 cm, the maximum temperature was 47 °C in a solarized area and 41 °C in an area in which no solarization was applied. At a depth of 20 cm, the maximum temperatures were 41 °C and 35 °C in solarized and non-solarized soils, respectively (Tab. 1).

Tab. 1 The maximum temperature (°C) of solarized and non-solarized areas at three soil depths.

Tab. 1 Die Maximaltemperatur (°C) der solarisierten und nicht-solarisierten Areale in den drei Bodentiefen.

		5 cm	10 cm	20 cm
2007	Solarized	54.0	47.0	41.0
	Non-solarized	48.0	41.0	35.0
2008	Solarized	44.5	39.7	34.7
	Non-solarized	42.1	36.2	31.4

In 2008, the soil temperature at a depth of 5 cm was recorded at 44.5 °C in a solarized area and as 42.1 °C in an area where no solarization was applied. The soil temperature at a depth of 10 cm depth was 39.7 °C in a solarized area and 36.2 °C in an area in which no solarization was applied. The soil temperatures at a depth of 20 cm were 34.7 °C and 31.4 °C for solarized and non-solarized soil, respectively.

3.2 Effect of solarization on weeds and branched broomrape

3.2.1 Effects on weeds in the first year (2007-2008 season)

In the first year of study, solarization, regardless of duration, prevented the germination of some weed species; specifically, germination of *Amaranthus viridis*, *Setaria verticillata*, *Urtica urens*, *Solanum nigrum*, *Portulaca oleracea*, *Chenopodium album* and *Stellaria media* were reduced by 99-100 %. It also had some effect on *Cyperus rotundus* (60-75 % reduction) which was statistically not significant (Tab. 2).

Tab. 2 Effect of different durations of solarization on some weeds (First year, 2007-2008 season).

Tab. 2 Der Effekt unterschiedlicher Solarisationszeitspannen auf einige Unkräuter (Erstes Versuchsjahr, 2007-2008).

Weeds	Treatments				
	Untreated Control	Solarization (2 weeks)	Solarization (4 weeks)	Solarization (6 weeks)	
<i>Amaranthus viridis</i>	180.0 ¹ a ²	1.0b	0.1b	0.0b	
Reduction of <i>A. viridis</i> (%)	-	99.4 ³	99.9	100	
<i>Seteria verticillata</i>	113.7a	0.5b	0.5b	0.0b	
<i>S. verticillata</i> (%)	-	99.6	99.6	100	
<i>Urtica urens</i>	44.0a	0.0b	0.0b	0.0b	
<i>Urtica urens</i> (%)	-	100	100	100	
<i>Solanum nigrum</i>	43.3a	0.0b	0.0b	0.0b	
<i>S. nigrum</i> (%)	-	100	100	100	
<i>Portulaca oleracea</i>	24.1a	0.3b	0.0b	0.0b	
<i>P. oleracea</i> (%)	-	98.8	100	100	
<i>Chenopodium album</i>	21.1a	0.0b	0.0b	0.0b	
<i>C. album</i> (%)	-	100	100	100	
<i>Stellaria media</i>	17.5a	0.0b	0.0b	0.0b	
<i>S. media</i> (%)	-	100	100	100	
<i>Cyperus rotundus</i>	20.6	8.3	5.1	7.3	N.S.
<i>C. rotundus</i> (%)	-	59.7	75.2	64.6	

¹ The number of weeds for each species is given as number per m²;

² Within rows, means followed by the same lower-case letter do not differ significantly ($\alpha = 0.05$);

³ The reduction of species are reported as the % reduction in numbers compared to the control

3.2.2 Effects on weeds in the second year (2008-2009 season)

The reduction in the germination of *A. viridis* was about 67-93 %, *S. verticillata* was reduced by about 78-94 % and germination of *U. urens* and *S. media* was prevented entirely (100 %; Tab. 3).

Tab. 3 Effect of different durations of solarization on some weeds (Second year, 2008-2009 season).

Tab. 3 Der Effekt unterschiedlicher Solarisationszeitspannen auf einige Unkräuter (Zweites Versuchsjahr, 2008-2009).

Weeds	Treatments			
	Untreated Control	Solarization (2 weeks)	Solarization (4 weeks)	Solarization (6 weeks)
<i>Amaranthus viridis</i>	90.9 ¹ a	30.4ab ²	24.5ab	6.8b
Reduction of <i>A. viridis</i> (%)	-	66.6 ³	73.0	92.5
<i>Seteria verticillata</i>	124.9a	27.5b	24.6b	7.0b
<i>S. verticillata</i> (%)	-	78.0	80.3	94.4
<i>Urtica urens</i>	41.3a	0.3b	0.0b	0.0b
<i>Urtica urens</i> (%)	-	99.3	100	100
<i>Stellaria media</i>	35.3a	0.0b	0.0b	0.0b
<i>S. media</i> (%)	-	100	100	100
<i>Cyperus rotundus</i>	6.5b	10.1ab	7.4ab	18.4a
<i>C. rotundus</i> (%)	-	+55.4	+13.8	+183.0

¹ The number of weeds for each species is given as number per m²

² Within rows, means followed by the same lower-case letter do not differ significantly ($\alpha = 0.05$)

³ The reduction of species are reported as the % reduction in numbers compared to the control

3.3 Effect of solarization on *Phelipanche ramosa*

In first year, no *P. ramosa* was observed in the plots where solarization was applied. Solarization's effect on reducing *P. ramosa* was 100 % regardless of the duration of solarization (Tab. 4).

Tab. 4 Effect of different durations of solarization *Phelipanche ramosa*.

Tab. 4 Der Effekt unterschiedlicher Solarisationszeitspannen auf *Phelipanche ramosa*.

Treatments	First year (2007-08 season)		Second year (2008-09 season)	
	<i>P. ramosa</i> (Number of shoots/plot)	Reduction in <i>P. ramosa</i> shoots (%)	<i>P. ramosa</i> (Number of shoots/plot)	Reduction in <i>P. ramosa</i> shoots (%)
Untreated Control	229.8a	-	316.5a	-
Solarization (2 weeks)	0 b	100	252.6ab	20.2
Solarization (4 weeks)	0 b	100	168.3bc	46.8
Solarization (6 weeks)	0 b	100	82.2c	74.0

Within column, means followed by the same lower-case letter do not differ significantly ($\alpha = 0.05$)

In the second year of the study, 2-, 4- and 6-week solarization periods resulted in reductions of 20, 47 and 74 %, respectively. The results for the 4- and 6-week durations were statistically significant compared to the untreated control (Tab. 4).

3.4 Effects of solarization on the yield of tomatoes

In the first year of study, the increase in tomato yield paralleled the solarization period extension. The highest yield was obtained from the plots solarized for 6 weeks. The increase in yield was 27 % in plots solarized for 4 weeks and 36 % in plots solarized for 6 weeks (Tab. 5). In the second year of study, the increase in yield was 19 % in plots solarized for 4 weeks and 24 % in plots for solarized 6 weeks.

Tab. 5 Effect of different durations of solarization on the yield of tomato plants.

Tab. 5 Der Effekt unterschiedlicher Solarisationszeitspannen auf Tomatenerträge.

Treatments	First year (2007-08 season)		Second year (2008-09 season)	
	Yield of tomatoes (g/20 plants)	% increase in the yield of tomatoes	Yield of tomatoes (g/20 plants)	% increase in the yield of tomatoes
Untreated Control	24516.5b	-	16985.0b	-
Solarization (2 weeks)	28132.0ab	14.8	16692.5b	0.0
Solarization (4 weeks)	31116.0ab	26.9	20260.0ab	19.3
Solarization (6 weeks)	32271.0a	35.7	21111.0a	24.4

Within column, means followed by the same lower-case letter do not differ significantly (Tukey= 0.05)

4. Discussion

When the results were examined, soil temperature was observed to depend on soil depth. Additionally, although solarization time increased soil temperature by 6 °C in the first experiment, it led to only a 2.5-3.5 °C increase in soil temperature in the second year of study. The low solarization effect in the second year was thought to be a result of the low temperature of the area. Previous studies have observed an increase in temperature that was similar to or higher than that seen in our study. In the Mediterranean Region of Turkey, YÜCEL et al. (2007) found that at depths of 10 and 20 cm, the temperature was about 10 °C greater in solarized areas than in non-solarized area. The maximum soil temperature increased to 40.9 and 47.1 °C separately, in two years at a 15 cm-depth in the Aegean Region (KAŞKAVALCI, 2007). BÜLBÜL and UYGUR (2009) stated that solarization (8 weeks) increased the temperature more than 10 °C, controlled *P. ramosa* effectively and increased the tomato yields in Adana/Turkey. VIZANTINOPOULOS and KATRANIS (1993) stated that the maximum temperature in solarized areas was 7-9 °C warmer than that in non-solarized areas at a depth of 7.5 cm. IOANNOU (2000) stated that solarization increased the maximum soil temperature by about

9 °C in Cyprus. Finally, SAHILE et al. (2005) stated that solarization with clear polyethylene increased temperatures from 32 to 48 °C, 33 to 46 °C and 37 to 49 °C in three different locations in Ethiopia.

Tomato yield in our studies increased in response to soil solarization. The results of these studies examining the use of solarization to control weeds and its effect on yield are in accordance with other studies. VIZANTINOPOULOS and KATRANIS (1993) stated that three or four weeks of solarization was effective against *Triticum aestivum*, *P. oleracea*, *Digitaria sanguinalis*, *S. nigrum* and *Amaranthus* spp. in Greece. IOANNOU (2000) stated that solarization for eight weeks in Cyprus increased tomato yield and had an effect on weed control for *Malva* spp., *Amaranthus* spp., *Chrysanthemum* spp., *C. album*, *Calendula arvensis*, *Lolium rigidum* and *U. urens*. However, little effect was found for *Convolvulus arvensis* and *C. rotundus*. In Western Anatolia in Turkey, the maximum soil temperatures at depths of 5 and 10 cm were 55 and 50 °C, respectively, for 44 days of solarization. This solarization controlled *Poa annua*, *P. oleracea* and *Amaranthus retroflexus* effectively, but did not control *C. rotundus* and *Conyza canadensis* (BENLIOĞLU et al., 2002). In addition, average maximum temperatures of 47.6 and 52.1 °C at a depth of 5 cm for 49-52 days of solarization controlled *Poa annua*, *P. oleracea*, *Amaranthus retroflexus* and *Echinochloa crus-galli* but not *C. canadensis* (BENLIOĞLU et al., 2005). Also, BENLIOĞLU et al. (2002, 2005) stated that solarization increased the yield of strawberry plants. In 2004, after solarization for 45-50 days (average of 47.5 °C), weeds such as *P. oleracea*, *A. retroflexus*, *Raphanus raphanistrum*, *P. annua* and *Matricaria chamomille* were suppressed, but *C. canadensis* was not (BOZ, 2004).

In our experiments, higher temperatures controlled *P. ramosa* (Syn: *Orobancha ramosa*) regardless of the duration of solarization. In other studies examining the control of *Orobancha* species in Jordan, ABU-IRMAILEH (1991) stated that 100 % reduction of *O. aegyptiaca* was obtained after solarization for 6 weeks, but not all weeds were sensitive. In addition, tomato yield was increased. SAHILE et al. (2005) stated that solarization for two, four, and six or eight weeks decreased the abundance of *O. ramosa* and *O. cernua* by different amounts and that tomato yield was generally increased in three different locations in Ethiopia. ABDALLA and DABROWSKI (1997) stated that solarization for 6-7 weeks controlled *Orobancha* and many other weeds and increased the yield of tomatoes by 63 %. LINKE (1999) suggested four weeks of solarization for the control of *Orobancha*; shorter periods of solarization were not sufficient to inhibit the seeds of *Orobancha*. MAUROMICALE et al. (2005) found that solarization controlled *O. ramosa* and increased the yield of tomatoes in Italy.

In our study, solarization led to an increase in tomato yield. An increase in available nutrients due to solarization could be partly responsible for this increase in yield. For example, after the application of solarization, weeds, nematodes and fungi were decreased and the mineralization of available organic matter was increased (LINKE, 1999). Addition, ARORA and YADURAJO (1998) stated that solarization increased the NO₃-N and NH₄-N concentrations compared to non-solarized areas in India.

It is apparent that solarization that achieves high temperatures is the best method of weed control in tomato cultivation in greenhouse conditions where weed and *P. ramosa* cause trouble.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the Scientific and Technological Research Council of Turkey for the support given to this project ((TUBITAK-106 G 072). And also thank Dr. Zeynel DALKILIÇ, Dr. Filiz BÜLBÜL, and to American Journal Experts for English Grammar.

References

- ABDALLA, N.E.K. AND Z.T. DABROWSKI, 1997: EFFECT OF SOIL SOLARIZATION ON *OROBANCHE* IN THE CENTRAL SUDAN. SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL SOLARIZATION AND INTEGRATED MANAGEMENT OF SOILBORNE PESTS. 16-21 MARCH. ALEPPO, SYRIA, PP. 240-245.
- ABDALLAH, F.A., A. HAMADACHE, M. KHEDDAM AND M.E. MAATOUGUI, 1999: LE PROBLEME DE L'OROBANCHE EN ALGERIE. IN: KROSCHEL J, M. ABDERABIHI AND H. BETZ (EDS.): ADVANCES IN PARASITIC WEED CONTROL AT ON-FARM LEVEL. VOL. II, JOINT ACTION TO CONTROL *OROBANCHE* IN THE WANA REGION, PP. 17-25.

- ABU-IRMAILEH, B.E., 1991: WEED CONTROL IN SQUASH AND TOMATO FIELDS BY SOIL SOLARIZATION IN THE JORDAN VALLEY. *WEED RESEARCH* **31**, 125-133.
- ARORA, A. AND N.T. YADURAJU, 1998: HIGH-TEMPERATURE EFFECTS ON GERMINATION AND VIABILITY OF WEED SEEDS IN SOIL. *JOURNAL OF AGRONOMY AND CROP SCIENCE* **181**, 35-43. ABSTRACT.
- BENLIOĞLU, S., Ö. BOZ, A. YILDIZ, G. KAŞKAVALCI AND K. BENLIOĞLU, 2002: SOIL SOLARIZATION OPTIONS IN AYDIN STRAWBERRY WITHOUT METHYL BROMIDE. ANNUAL INTERNATIONAL RESEARCH CONFERENCE ON METHYL BROMIDE ALTERNATIVES AND EMISSIONS REDUCTIONS, 6-8 NOVEMBER, 8, 1-5.
- BENLIOĞLU, S., Ö. BOZ, A. YILDIZ, G. KAŞKAVALCI AND K. BENLIOĞLU, 2005: ALTERNATIVE SOIL SOLARIZATION TREATMENTS FOR THE CONTROL OF SOIL-BORNE DISEASES AND WEEDS OF STRAWBERRY IN THE WESTERN ANATOLIA OF TURKEY. *JOURNAL OF PHYTOPATHOLOGY* **153**, 423-430.
- BOZ, Ö., 2004: EFFICACY AND PROFITABILITY OF SOLARIZATION FOR WEED CONTROL IN STRAWBERRY. *ASIAN JOURNAL OF PLANT SCIENCE* **3**, 731-735.
- BOZ, Ö., M.N. DOĞAN, D. ÖĞÜT AND K. KIR, 2008: OCCURRENCE OF WEEDS IN GREENHOUSE TOMATO IN THE AEGEAN REGION OF TURKEY WITH SPECIAL EMPHASIS ON *OROBANCHE* SPP. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION* **SPECIAL ISSUE XXI**, 521-526.
- BÜLBÜL, F. AND F.N. UYGUR, 2009: THE EFFECT OF SOIL SOLARIZATION ON BROOMRAPE IN GREENHOUSE TOMATO. IN: RUBIALES, D., J. WETSWOOD AND A. ULUDAG (EDS.), 10TH WORLD CONGRESS ON PARASITIC PLANTS. P. 97. 8-12 JUNE, KUSADASI/TURKEY.
- HASSANEIN, E. AND A. SALIM, 1999: COUNTRY PAPER ABOUT *OROBANCHE* AND ITS CONTROL IN EGYPT, 1999. IN: KROSCHER J., M. ABDERABIHI AND H. BETZ (EDS.): ADVANCES IN PARASITIC WEED CONTROL AT ON-FARM LEVEL. VOL. II, JOINT ACTION TO CONTROL *OROBANCHE* IN THE WANA REGION, PP. 27-35.
- IOANNOU, N., 2000: SOIL SOLARIZATION AS A SUBSTITUTE FOR METHYL BROMIDE FUMIGATION IN GREENHOUSE TOMATO PRODUCTION IN CYPRUS. *PHYTOPARASITICA* **28**, 1-9.
- KAŞKAVALCI, G., 2007: EFFECTS OF SOIL SOLARIZATION AND ORGANIC AMENDMENT TREATMENTS FOR CONTROLLING *MELOIDOGYNE INCOGNITA* IN TOMATO CULTIVARS IN WESTERN ANATOLIA. *TURKISH JOURNAL OF AGRICULTURE AND FORESTRY* **31**, 159-167.
- KATAN, J. AND J.E. DE VAY, 1991: SOIL SOLARIZATION. CRS PRESS, LONDON, UK. 267 p.
- KROSCHER, J., 2001: A TECHNICAL MANUAL FOR PARASITIC WEED RESEARCH AND EXTENSION. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS. P. 256.
- LINKE, K.H., 1999: STATUS QUO OF *OROBANCHE* MANAGEMENT: PREVENTIVE, CULTURAL, AND PHYSICAL CONTROL. IN: KROSCHER J., M. ABDERABIHI AND H. BETZ (EDS.): ADVANCES IN PARASITIC WEED CONTROL AT ON-FARM LEVEL. VOL. II, JOINT ACTION TO CONTROL *OROBANCHE* IN THE WANA REGION, PP. 107-133.
- MAUROMICALE, G., A.L. MONACO, A.M.G. LONGO AND A. RESTUCCIA, 2005: SOIL SOLARIZATION, A NONCHEMICAL METHOD TO CONTROL BRANCHED BROOMRAPE (*OROBANCHE RAMOSA*) AND IMPROVE THE YIELD OF GREENHOUSE TOMATO. *WEED SCIENCE* **53**, 877-883.
- MÜLLER-STÖVER, D., M.A. ADAM, O.A. AL-MENOUFI AND J. KROSCHER, 1999: IMPORTANCE OF *OROBANCHE* SPP. IN TWO REGIONS OF EGYPT-FARMERS: PERCEPTIONS AND DIFFICULTIES, AND PROSPECTS OF CONTROL. IN: KROSCHER J., M. ABDERABIHI AND H. BETZ (EDS.): ADVANCES IN PARASITIC WEED CONTROL AT ON-FARM LEVEL. VOL. II, JOINT ACTION TO CONTROL *OROBANCHE* IN THE WANA REGION, PP. 37-52.
- NEMLI, Y. AND H. DEMIRKAN, 1988: PROBLEM OF BROOMRAPE IN TOMATO PLANTATION IN MARMARA REGION OF TURKEY. *THE JOURNAL OF TURKISH PHYTOPATHOLOGY* **17**, 126.
- OREL-AKSOY, E. AND F.N. UYGUR, 2003: DISTRIBUTION OF *OROBANCHE* SPP. IN THE EAST MEDITERRANEAN REGION OF TURKEY. 7TH EWRS (EUROPEAN WEED RESEARCH SOCIETY) MEDITERRANEAN SYMPOSIUM. ADANA-TURKEY. PP. 131-132.
- PARKER, C., 1994: THE PRESENT STATE OF THE *OROBANCHE* PROBLEM. GERMINATION ECOLOGY OF *STRIGA* AND *OROBANCHE* AN OVERVIEW. BIOLOGY AND MANAGEMENT OF *OROBANCHE*. IN: PIETERSE, A.H., J.A.C. VERKLEIJ AND S.J. TER BORG (EDS.): PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL WORKSHOP ON *OROBANCHE* AND RELATED *STRIGA* RESEARCH, ROYAL TROPICAL INSTITUTE, NETHERLANDS, 1994, PP. 36-48.
- SAHILE, G., G. ABEBE AND M.A.T. ABDEL-RAHMAN, 2005: EFFECT OF SOIL SOLARIZATION ON *OROBANCHE* SOIL SEED BANK AND TOMATO YIELD IN CENTRAL RIFT VALLEY OF ETHIOPIA. *WORLD JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE* **1**, 143-147.
- STAPLETON, J.J., 1996: FUMIGATION AND SOLARIZATION PRACTICE IN PLASTICULTURE SYSTEMS. *HORTTECHNOLOGY* **6**, 189-192.
- VIZANTINOPOULOS, S. AND N. KATRANIS, 1993: SOIL SOLARIZATION IN GREECE. *WEED RESEARCH* **33**, 225-230.
- YÜCEL, S., İ.H. ELEKÇIOĞLU, C. CAN, M.A. SÖĞÜT AND A. ÖZARSLANDAN, 2007: ALTERNATIVE TREATMENTS TO METHYL BROMIDE IN THE EASTERN MEDITERRANEAN REGION OF TURKEY. *TURKISH JOURNAL OF AGRICULTURE AND FORESTRY* **31**, 47-53.

Seasonal variation of the sprouting ability of rhizome/root buds and concentrations of storage compounds in *Calystegia sepium* (L.) R. Br. and *Convolvulus arvensis* L.

Jahreszeitliche Veränderung der Austriebsfähigkeit der Rhizom- und Wurzelknospen und der Speicherstoffkonzentrationen von Calystegia sepium (L.) R. Br. und Convolvulus arvensis L.

Leonie Willeke^{1*}, Hansjörg Kraehmer³, Roland Gerhards¹ & Wilhelm Claupein²

¹Institute of Phytomedicine, University of Hohenheim, 70593 Stuttgart, Germany

²Institute of Crop Production and Grassland Research, University of Hohenheim, 70599 Stuttgart, Germany

³Bayer CropScience; Industrial Park, 65926 Frankfurt am Main, Germany

*Corresponding author, Leonie.Willeke@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.090

Summary

Convolvulus arvensis (CONAR) and *Calystegia sepium* (CAGSE) are widespread perennial weeds. Our field results demonstrate that the early application of herbicides usually does not result in complete control. Seasonal changes of the sprouting ability of rhizomes or root buds and the transport of different organic compounds within plants were therefore analyzed as possible indicators for times of maximum phloem and herbicide transport. Rhizome and root pieces from fields in Southern Germany were used. CAGSE buds remained completely dormant until March. Their sprouting ability increased up to over 90 % in May. CONAR buds sprouted only from May onwards and reached a maximum of over 90 % in June. After September, the sprouting ability decreased sharply until the underground organs became dormant in November.

Greenhouse experiments were carried out to analyze the carbon and nitrogen concentration of roots and rhizomes with isotopic ratio mass spectrometer analysis (IRMS), sugars (fructose, glucose, sucrose) by using high-performance liquid chromatography (HPLC) and starch concentrations by polarimeter. Experiments started at the time of first shoots in spring and finished with the onset of winter dormancy in fall. Our results show that CAGSE exhausts starch in rhizomes up to mid-June and CONAR in roots up to late June. Thereafter, the amount of storage compounds increased again. By October, the starch concentration of dry weight in roots and rhizomes reached 11-12 % more than in spring. The November values were 21 % and 18 %, respectively. Sugar concentrations vary during the growing period from 1.5 % to 6 % related to dry weight. At the end of June, an increase was recorded in parallel to starch accumulation. These results are discussed as parameters for the control of both species.

Keywords: Bindweed, carbon, nitrogen, perennial weed, starch, sugar

Zusammenfassung

Convolvulus arvensis (CONAR) und *Calystegia sepium* (CAGSE) sind weit verbreitete mehrjährige Unkräuter. Unsere Feldversuche haben gezeigt, dass eine frühe Herbizidapplikation in der Regel zu keiner vollständigen Bekämpfung führt. Aus diesem Grund wurden die saisonalen Veränderungen der Austriebsfähigkeit von Rhizom- und Wurzelknospen und der Transport verschiedener organischer Verbindungen in den Pflanzen als mögliche Indikatoren für die Zeiten des maximalen Phloem- und Herbizidtransports analysiert. Es wurden Rhizom- und Wurzelstücke von Ackerflächen in Süddeutschland verwendet. Die Rhizomknospen von CAGSE blieben bis März dormant. Ihre Austriebsfähigkeit stieg im Mai auf über 90 %. Die Wurzelknospen von CONAR trieben ab Mai aus und erreichten ein Maximum von über 90 % im Juni. Die Keimfähigkeit fiel ab September stark ab, bis im November die unterirdischen Organe vollständig dormant waren.

Gewächshausversuche zur Bestimmung der Kohlenstoff- und Stickstoffkonzentration in Wurzeln und Rhizomen wurden durchgeführt. Die Analysen erfolgten mit einem Isotopenverhältnis-Massenspektrometer (IRMS), Zuckerkonzentrationen (Glucose, Fructose, Saccharose) wurden mittels Hochleistungs-Flüssigchromatographie (HPLC) gemessen, Stärkekonzentrationen mit dem Polarimeter. Die Experimente begannen mit dem ersten Austrieb im Frühjahr und endeten im Herbst zu Beginn der Winterruhe. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten CAGSE-Rhizome bis Mitte Juni und CONAR-Wurzeln bis Ende Juni vermehrt Stärke abbauten. Im Anschluss stieg die Speicherstoffkonzentration wieder an. Im Oktober lag die Stärkekonzentration bezogen auf die Trockenmasse in den Wurzeln und Rhizomen um 11-12 % höher als im Frühjahr. Im November lagen die Werte bei 21 % bzw. 18 %. Zuckerkonzentrationen schwankten bezogen auf das Trockengewicht während der Vegetationsperiode zwischen 1,5 % und 6 %. Ende Juni wurde wie bereits bei der Stärke eine Zunahme

gemessen. Die Ergebnisse werden als Parameter der Bekämpfung der beiden Arten diskutiert.

Stichwörter: Kohlenstoff, perennierende Unkräuter, Stärke, Stickstoff, Winden, Zucker

1. Introduction

CAGSE and CONAR are perennial weeds, which can twine around crop plants and break down their stems. The two species are distributed worldwide. Especially CONAR is ranked among the most aggressive weeds for years (HOLM et al., 1977). In contrast to the small knowledge about the damage caused by CAGSE, the economic impact of CONAR is well described. According to BOLDT (1998), the estimated loss through bindweed in the USA amounts to over \$ 377 million per year (BOLDT et al., 1998). On sites with high weed densities, yield losses were recorded at 50-60 % for CONAR (CALLIHAN et al., 1990). Both species can overwinter after the aboveground parts die in fall. The main and lateral roots become woody and starch and sugar are stored (KOGAN, 1986; WIESE and PHILIPPS, 1976). Dormant rhizome and root buds enable perennial plants in temperate climates to survive even under adverse environmental conditions and to slow or increase the active growth in dependence of the seasonal climatic change (MCALLISTER and HADERLIE, 1985). Without a proper control strategy, the two species increasingly expand their root or rhizome system from year to year. Thus, a CONAR nest can enlarge in one year on average 3 m (FRAZIER, 1943). The formation of extended patches and the high variability of the sprouting time of rhizomes or roots in spring significantly hamper weed control.

CAGSE and CONAR can be found in both conventional and organic farming. Above all, the increasing use of reduced tillage leads to an increase in perennial weeds (NKURUNZIA et al., 2003). In conventional agriculture, specific herbicides therefore have to be used for targeted reduction. The above-ground shoots can easily be killed, but only systemic herbicides can prevent the regrowth of the underground parts (RASK and ANDREASEN, 2007).

In our field experiments, early herbicide application did not result in long-term control of the two bindweeds. Many rhizome and root pieces of the clones formed new shoots in the same or in the next growing season despite herbicide applications. The effective implementation of good control strategies at the right time requires an advanced knowledge about the biology of bindweed.

Studies of NKURUNZIZA (2010) about the perennial species *Cirsium arvense* have already shown that storage substances are used to form new shoots at the beginning of the vegetation period. High photosynthesis rates seem to enhance the carbohydrate transport into rhizomes and roots. Manufacturers, extension service and university programs recommend to apply herbicides to actively-growing bindweeds. Some refer to the enhanced phloem transport. We assume that systemic herbicides are more efficiently translocated into belowground organs when photosynthetic transport is high. Based on this assumption, we examined the sprouting ability of the rhizome and root pieces on the one hand and the concentration variation of stored nutrients like sugars and starch on the other hand as well as the carbon and nitrogen concentration during one growing season.

2. Materials and methods

2.1 Analysis of the sprouting ability of rhizome and root pieces

From March 2010 until the dormancy of rhizome and root pieces in the end of November, pieces with six nodes and a length of about 10 cm were collected each month. The bindweed originated from a field on the Ihinger Hof (Experimental Station of the University of Hohenheim, Germany) and hedge bindweed from a field near Uhingen (Germany). After collection, the underground organs were washed, wrapped in filter paper and placed in a pot with water. The pots were placed in a greenhouse with a day-night cycle of 12 h / 12 h at 23 °C. After seven days, the number of sprouted pieces was noted and documented as a percentage of totally assessed plants.

2.2 Analysis of different ingredients of rhizome and root pieces

At the beginning of the vegetation period (April 2010), vegetatively propagated root and rhizome pieces with 6-7 nodes of field bindweed and hedge bindweed were planted separately in 13 x 13 x

22 cm pots. The plants were grown in a clay-substrate mixture (pH 7.2) and placed in the outside area of a vegetation hall of the University of Hohenheim (Stuttgart, Germany). The growth conditions such as day-night cycle and temperature corresponded to ambient conditions. The plants were additionally watered when necessary. On the first and fifteenth of each month, six plants were collected, the roots freed from soil and the concentration of the ingredients analyzed as described below.

Carbon and nitrogen content were measured by using isotope ratio mass spectrometry (IRMS). For this analysis, the root samples were dried for three hours at 80 °C and mortared in liquid nitrogen to a fine powder. Samples of 2-3 mg were weighed into tin capsules (5 x 9 mm). IRMS was performed on a Thermo Finnigan Delta plus XP system, coupled to a Euro EA elemental analyzer (Euro Vector Instruments and Software, Hekatech, Wegberg, USA) (oxidation furnace, 1000 °C, reduction furnace, 650 °C, carrier gas, 40 kPa; packed column temperature, 90 °C). As standard material, acetanilides were utilized. For data acquisition and processing, Thermo Electron ISO Date NT software, version 2.0, was used.

In preparation of the samples for the polarimetric starch determination by Baumann Grossfeld, 2.5 g of fresh rhizome and root pieces were homogenized with an Ultra-Turrax, hydrochloric acid was added and heated in a water bath at 100 °C. Then a Carrez clarification was conducted to precipitate unwanted substances such as proteins. Finally, the samples were filtered and measured on a Perkin Elmer polarimeter.

For the high-performance liquid chromatography (HPLC) measurement of sugar analysis, 2.5 g of the rhizome and root pieces were first homogenized in a water-acetonitril mixture by using an Ultra-Turrax, then centrifuged and the pellet was discarded. The analysis was performed on a Perkin Elmer HPLC system (evaporative light scattering detector (ELSD), using a HPLC column (ShodexAsahipak NH2P-50, 250 x 4.6 mm, 5 microns), flow rate 1 ml/min; demineralized eluent, acetonitrile and distilled water).

2.3 Statistical analysis

The experiments were conducted in a completely randomized block design. Analysis of variance (ANOVA) was performed on the data from both experiments. The statistical analysis was conducted using SAS 9.2. and the graphics were created with Excel 2007. For the analysis of the root ingredients we used the glm procedure for pairwise comparisons to test for significant variations of different months in vegetation periods on the response variables of carbon, nitrogen or carbohydrates.

3. Results

3.1 Sprouting ability of rhizome and root buds

Figure 1 shows the sprouting ability of the rhizome and root pieces of the two perennial species. The onset of sprouting ability was recorded in April. At this month, the rhizome sprouting ability of CAGSE was 15 % and reached a maximum of 98 % in May. In contrast to the rhizomes, the roots were dormant until May. In June, a large number of pieces (94 %) formed new shoots. The underground organs of both weed species could sprout to a rate of over 78 % throughout the summer until late September. In general, the sprouting ability of the 10 cm long underground organs of field bindweed was on average 10 % higher than that of hedge bindweed. In September, the high sprouting ability decreased significantly and CAGSE pieces became dormant in November and CONAR pieces in December.

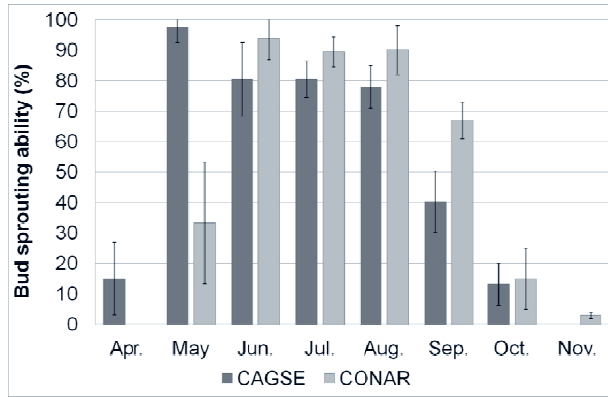


Fig. 1 Bud sprouting ability (%) of rhizome pieces of CAGSE and root pieces of CONAR from April to November with standard deviation.

Abb. 1 Knospenaustrieb (%) der CAGSE-Rhizomstücke und CONAR-Wurzelstücke von April bis November mit Standardabweichung.

3.2 Analysis of carbon content

The percentage of total carbon content of the underground organs of both species showed a similar trend (Fig. 2). At the beginning of the growing season, the carbon content of CAGSE and CONAR pieces was 34 % relative to total dry weight. In mid-May, during the begin of shoot growth, carbon content was reduced to 27 %. While the carbon content of CAGSE rhizomes was reduced again in mid-June, the carbon of CONAR rised slowly. After a significantly higher local maximum of about 35 mg of carbon per gram of root or rhizome in mid-July, the content of both weeds obtained until mid-August (that means at the end of flowering until the end of the growing season) showed a nearly constant maximum of approximately 42 %.

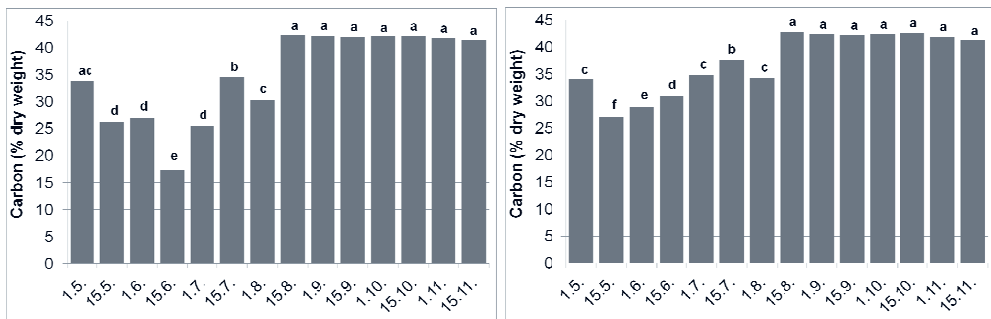


Fig. 2 Carbon content (% dry weight) in the rhizomes of CAGSE (left panel) and roots of CONAR (right panel) from early May until mid-November. Values indicated by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

Abb. 2 Kohlenstoffkonzentration (% Trockengewicht) der CAGSE-Rhizome (linke Graphik) und CONAR-Wurzeln (rechte Graphik) von Anfang Mai bis Mitte November. Mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnete Balken unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$).

3.3 Analysis of nitrogen content

The nitrogen content of the underground organs of the bindweeds increased at the beginning of the growing season and was highest from mid-May to early July. The values were about 2 % of dry mass. In addition, Figure 3 shows that the content decreased rapidly in the coming months. In early August

at the flowering period, the lowest concentration of less than 1 % was measured. From the end of flowering, in mid-August, the nitrogen content increased again. By the end of the growing season, it changed only slightly and the contents no longer differed significantly.

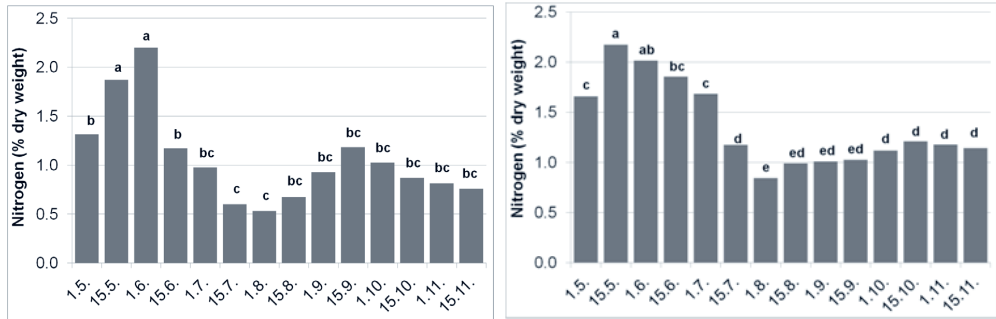


Fig. 3 Nitrogen content (% dry weight) in the rhizomes of CAGSE (left panel) and roots of CONAR (right panel) from early May until mid-November. Values indicated by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

Abb. 3 Stickstoffkonzentration (% Trockengewicht) der CAGSE-Rhizome (linke Graphik) und CONAR-Wurzeln (rechte Graphik) von Anfang Mai bis Mitte November. Mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnete Balken unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$).

3.5 Analysis of starch content

Figure 4 shows that, in both species, the starch concentration in the rhizomes and roots was highest at the beginning of planting time compared to the other months. The starch content of CONAR roots increased slowly to a minimum of 12 % at 15.06. The CAGSE rhizomes possessed the lowest starch concentrations of 9-13 % by mid-July. These differed significantly from the levels measured at other times.

An increased storage of starch occurred in both species at early to mid-July. From the end of the flowering period, the content varied only slightly and no longer changed significantly. In general, the figure shows that CAGSE as well as CONAR stored about 20 % starch as a reserve.

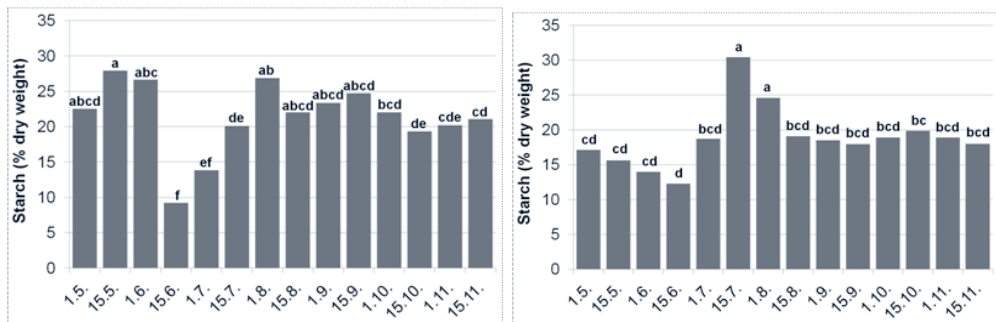


Fig. 4 Starch content (% dry weight) in the rhizomes of CAGSE (left panel) and roots of CONAR (right panel) from early May until mid-November. Values indicated by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

Abb. 4 Stärkekonzentration (% Trockengewicht) der CAGSE-Rhizome (linke Graphik) und CONAR-Wurzeln (rechte Graphik) von Anfang Mai bis Mitte November. Mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnete Balken unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$).

3.5 Analysis of sugar content

The sugar concentrations of both species strongly changed during the vegetation period. In the early stages of growth, especially the glucose level raised in the rhizome and root pieces from approximately 0.5 and 0.8 % to 4 % and 2 %. Figure 5 illustrates that at the time of flowering and seed production the total sugar concentration of the underground organs of both weeds decreased significantly. In mid-August, the lowest concentrations of approximately 1.5 % were measured. From September onwards, sugar was increasingly stored - at this time, in both species, almost exclusively in the form of sucrose.

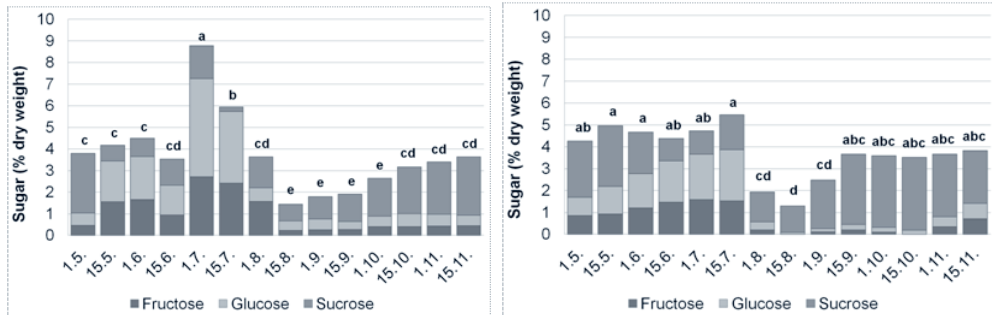


Fig. 5 Sugar content (% dry weight) in the rhizomes of CAGSE (left panel) and roots of CONAR (right panel) from early May until mid-November. Values indicated by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

Abb. 5 Zuckerkonzentration (% Trockengewicht) der CAGSE-Rhizome (linke Graphik) und CONAR-Wurzeln (rechte Graphik) von Anfang Mai bis Mitte November. Mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnete Balken unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$).

4. Discussion

The two studies show the percentage of sprouting ability of rhizomes and root pieces on the one hand and the trend of ingredient concentrations of the underground storage organs of the two species CAGSE and CONAR on the other hand. Although in the first experiment the root and rhizome pieces were collected from the same nests (which could suggest a possible cloning), there was a high variability in the sprouting ability in the respective months. The sprouting ability was highest from May (CAGSE) and June (CONAR) to August. But never did 100 % of the rhizomes or roots sprout. This high variability of sprouting time during the growing season seems to be a major survival strategy of the plants after herbicide application. This applies especially to early applications before the buds of the rhizome and root pieces sprout and thus the herbicide cannot adequately control the underground organs. In addition to the inhomogeneous sprouting in the second experiment, an inhomogeneous shoot growth of the different plants of one replication was found.

At the beginning of the growth period the stored nutrients were mobilized. The starch granules were presumably reduced and transported as an energy source into the developing stem (sink). The resulting decrease of the starch in underground parts until mid-June is illustrated in Figure 5. Only through increased photosynthesis with increasing shoot growth in June, the source and the sink might have reversed after reaching their compensation point. Assimilates were now transported into the roots and stored in form of sugars and starch. The described transport directions of starch are indicated by measured sugar concentrations. As Figure 4 shows, the glucose level rose sharply, especially in CAGSE rhizomes from mid-June to early July. This could be due to the fact that starch cannot be transported through the phloem, the plants have to convert the starch with the help of phosphorylases and amylases into glucose. In addition, from August onwards, the sucrose concentration increased sharply in the underground parts of both weeds. This is consistent with the theory that the transport of starch in other parts of plants takes place mostly in the form of sucrose

(HELDT, 2003).

The measured carbohydrates and the total carbon and nitrogen analyses underline the seasonal trend of source and sink relationships. In addition to hydrogen and oxygen, carbon is one of the main components of organic compounds in plants (CAMPBELL, 1997) and is very versatile. At the beginning of the growing season, multiple carbon compounds are required as an energy source for growth. Thus the concentration declined first, as can be seen in Figure 2. Presumably only through growth-increased photosynthetic activity with CO₂ fixation in combination with basipetally increased transport of various carbon compounds, did the carbon concentration increase again in August. Also, nitrogen is an important component in plants. It occurs mainly in nucleic acids, proteins, hormones and coenzymes (CAMPBELL, 1997). Proteins also serve alongside carbohydrates and fats as an energy source and serve as fuels of respiration. This could be a reason for the measured decrease in nitrogen content in the underground organs during the shoot growth and the increase only by mid-August (Fig. 3).

Studies that expand knowledge about the biology of perennial species and especially on the sources and sinks of carbohydrate dynamics promise to improve weed management strategies. Compensation point is a pivotal time because it determines the start of increased weed-crop competition (NKURUNZIA, 2010). The right time of herbicide application is very important. Growth stages of the plants, soil moisture and precipitation play an important role (WESTRA, 1992). In recent years, various authors have given recommendations for the optimal time of herbicide treatment. Several studies indicate that herbicide treatments for herbicides such as glyphosate and 2,4-D should take place during the first flowering, when carbohydrate concentration is low (ALCOCK and DICKINSON, 1974; CALLIHAN et al., 1990; KOGAN, 1986; PETERSON, 1998). However, carbohydrate concentrations were not measured in these experiments. It may well be that by observing the actual trend of reserve concentrations, application timing can be optimized. From our studies we can conclude that the compensation point occurs probably before flowering. The starch concentration has reached its minimum 1.5 months before flowering begins. Thus it can be assumed that optimal treatment should take place shortly after the compensation point when the plant has little reserves and when the translocation of the herbicides through the phloem with assimilates into the underground organs can be expected. In addition to the application of herbicides, repeated tillage during the growing season can reduce weed infestation. The formation of new shoots after harrowing cuts depends on the reserves (HAKANSSON, 2003). Thus, in this case, the compensation point is an important time for mechanical control. The reserves of rhizomes and roots can quickly be removed with this strategy.

It should be noted, however, that data from field trials can differ significantly in comparison to greenhouse experiments. Unlike annual weeds, which are grown from seed and thus demonstrate a clearly defined development, perennial species often show large discrepancies as a result of nest-building with extensive underground systems and high phenotypic variability. Therefore, it is necessary to perform further field studies under different environmental conditions. To optimize control strategies, it is important to find out the influence of biotic and abiotic factors on the dormancy of rhizomes and roots, which also affect the seasonal trend of source-sink relations of the reserves.

Acknowledgments

We would like to thank F. Walter, B. Hoeglinger (Institute of Phytomedicine, University of Hohenheim), W. Armbruster and A. Lang (Institute of Food Chemistry, University of Hohenheim) for their technical assistance during analysis of the storage compounds. This study was supported by Bayer CropScience.

References

- ALCOCK, C. R. AND J.A. DICKINSON, 1974: FIELD BINDWEED OR *CONVOLVULUS ARVENSIS* L. A GUIDE TO IDENTIFICATION AND CONTROL. JOURNAL OF AGRICULTURE, SOUTH AUSTRALIA **77**, 141–144.

- Boldt, P. E., S.S. Rosenthal AND R. Srinivasan, 1998: DISTRIBUTION OF FIELD BINDWEED AND HEDGE BINDWEED IN THE USA. JOURNAL OF PRODUCTION AGRICULTURE **11**, 377-381.
- CAMPBELL, N.A., 1997: BIOLOGIE. SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG HEIDELBERG, BERLIN, OXFORD.
- CALLIHAN, R.H., C.V. EBERLEIN, J.P. McCAFFREY AND D.C. THILL, 1990: FIELD BINDWEED: BIOLOGY AND MANAGEMENT. UNIVERSITY OF IDAHO, COOPERATIVE EXTENSION SYSTEM, COLLEGE OF AGRICULTURE BULLETIN **719**.
- FRAZIER, J.C., 1943: NATURE AND RATE OF DEVELOPMENT OF ROOT SYSTEM OF *CONVOLVULUS ARVENSIS*. BOTANICAL GAZETTE **104**, 417-423.
- HAKANSSON, S., 2003: WEEDS AND WEED MANAGEMENT ON ARABLE LAND – AN ECOLOGICAL APPROACH. CABI PUBLISHING, UPPSALA, SWEDEN.
- HOLM, L.G., D.L. PLUNKNETT, J.V. PANCHO AND J.P. HERBERGER, 1977: THE WORLDS WORST WEEDS: DISTRIBUTION AND BIOLOGY. UNIVERSITY PRESS OF HAWAII, HONOLULU.
- KOGAN, M., 1986: ECO-PHYSIOLOGY AND CONTROL OF *CONVOLVULUS ARVENSIS* L. IN ECOLOGY AND CONTROL OF PERENNIAL WEEDS IN LATIN AMERICA. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, ROME.
- MCALLISTER, R.S. AND L.C. HADERLIE, 1985: SEASONAL VARIATIONS IN CANADA THISTLE (*CIRSIMUM ARVENSE*) ROOT BUD GROWTH AND ROOT CARBOHYDRATE RESERVES. SCIENCE **33**, 44-49.
- HELDT, H. W., 2003: PFLANZENBIOCHEMIE., SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG HEIDELBERG, BERLIN.
- NKURUNZIA, L., E. ROSEQVIST AND J.C. STREIBIG, 2010: PHOTOSYNTHESIS AND GROWTH OF NEWLY ESTABLISHED SHOOTS OF *CIRSIMUM ARVENSE* AND *TUSSILAGO FARFARA* ARE RESOURCE INDEPENDENT. WEED RESEARCH **51**, 33-40.
- NKURUNZIA, L., 2010: PHENOLOGY AND SOURCE-SINK DYNAMICS OF CARBOHYDRATES IN RELATION TO MANAGEMENT OF PERENNIAL WEEDS: *CIRSIMUM ARVENSE* (L.) SCOP AND *TUSSILAGO FARFARA* L., PHD THESIS, DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND ECOLOGY, CROP SCIENCES TAASTRUP.
- PETERSON, D. AND P.W. STAHLMANN 1989: FIELD BINDWEED CONTROL IN FIELD CROPS AND FALLOW. KANSAS STATE UNIVERSITY AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION AND COOPERATIVE EXTENSION SERVICE, 1-12.
- RASK, A. M. AND C. ANDREASEN, 2007: INFLUENCE OF MECHANICAL RHIZOME CUTTING, RHIZOME DRYING AND BURIAL AT DIFFERENT DEVELOPMENTAL STAGES ON THE REGROWTH OF *CALYSTEGIA SEPIUM*. WEED RESEARCH **47**, 84-93.
- WESTRA, P., P. CHAPMAN, P.W. STAHLMAN, S.D. MILLER AND P.K. FAY, 1992: FIELD BINDWEED (*CONVOLVULUS ARVENSIS*) CONTROL WITH VARIOUS HERBICIDE COMBINATIONS. WEED TECHNOLOGY **6**, 949-955.
- WIESE, A. F. AND W.M. PHILLIPS, 1976: FIELD BINDWEED. WEEDS TODAY **6**, 22-23.

FTIR-ATR spectroscopy – a new approach in root discrimination of crop and weed species

FTIR-ATR Spektroskopie – ein neuer Ansatz zur Wurzelunterscheidung von Nutzpflanzen- und Unkrautarten

Catharina Meinen* & Rolf Rauber

Georg-August-University Goettingen, Department of Crop Sciences, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Goettingen, Germany

*Corresponding author, Catharina.Meinen@agr.uni-goettingen.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.091

Summary

Crop and weed species often compete for the same resources. To analyse below-ground competitive processes, crop and weed roots have to be distinguished from one another. Up to now, a reliable and easy method for plant root discrimination does not exist. In a recent study, Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy with an attenuated total reflection (ATR) device was successfully applied in root discrimination of distantly related plant species (pea/oat). In this experiment, we wanted to test the potential of FTIR-ATR spectroscopy to discriminate roots of closely related crop/weed-combinations. In a greenhouse experiment, two crop and associated weed species were cultivated: Maize/barnyard grass (*Zea mays/Echinochloa crus-galli*) and sugar beet/common lambsquarters (*Beta vulgaris/Chenopodium album*). To allow inter- and intra-specific competition, plants were grown sole and in crop/weed-combinations. Six weeks after sowing, root biomass was harvested and rinsed with water to remove soil particles. The absorbance patterns of fresh and dry rootlets were recorded by FTIR-ATR spectroscopy. Spectra of fresh rootlets within one plant family showed similar peak distribution, while dry rootlets differ in peak location and height. Cluster analyses grouped the absorbance patterns of the dry crop and weed roots according to their similarity and revealed a complete root discrimination of crop and weed species.

Keywords: *Beta vulgaris*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, spectral distribution, *Zea mays*

Zusammenfassung

Nutzpflanzen und Unkräuter konkurrieren häufig um die gleichen Ressourcen. Eine Voraussetzung zur Untersuchung von unterirdischer Konkurrenz ist, dass Wurzeln von Nutzpflanzen- und Unkrautarten unterschieden werden können. Eine schnelle und einfache Methode hierzu existiert bisher nicht. In einer früheren Studie wurde Fourier Transform Infrarot (FTIR) Spektroskopie mit abgeschwächter Totalreflektion (ATR) erfolgreich zur Wurzelunterscheidung bei entfernt verwandten Pflanzenarten (Erbse/Hafer) angewendet. In diesem Experiment wollten wir das Potenzial der FTIR-ATR Spektroskopie zur Wurzelunterscheidung bei nahverwandten Nutzpflanze/Unkraut-Kombinationen testen. In einem Gefäßversuch wurden Mais/Gemeine Hühnerhirse (*Zea mays/Echinochloa crus-galli*) sowie Zuckerrübe/Weißer Gänsefuß (*Beta vulgaris/ Chenopodium album*) angezogen. Um inter- und intraspezifische Konkurrenz zu ermöglichen, sind die Pflanzen einzeln und in Nutzpflanze/Unkraut-Kombinationen gewachsen. Sechs Wochen nach dem Säen wurden Wurzelsegmente geerntet und mit Wasser von Erdpartikeln gereinigt. Die Absorptionsmuster der frischen und getrockneten Wurzelstücke wurden mittels FTIR-ATR Spektroskopie erfasst. Die Spektren der frischen Wurzeln einer Pflanzenfamilie zeigten ähnliche Peakverteilungen und Peakhöhen, während getrocknete Wurzelstücke unterschiedliche Absorptionsmuster aufwiesen. Eine Clusteranalyse gruppierte die Spektren hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit. Diese Analyse zeigte eine komplette Auftrennung der getrockneten Wurzelstücke entsprechend ihrer Artzugehörigkeit.

Stichwörter: *Beta vulgaris*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, spektrale Verteilung, *Zea mays*

1. Introduction

Plant species often compete for the same resources and much of the competition takes place belowground (CASPER and JACKSON, 1997). Below-ground competition for nutrients and water can show even stronger effects than above-ground competition for light (WILSON, 1988). To analyse below-ground competition processes of crop and weed species, roots have to be distinguished according to species level. Up to now, a reliable and easy method for plant root discrimination does not exist for non-woody plant species.

Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy irradiates the sample by mid-infrared radiation. The

absorption of the sample is recorded and results in a spectrum which represents the chemical composition like a spectral fingerprint. This method has been used for species discrimination of bacteria and fungi (NAUMANN et al., 1991, 2005; MARIEY et al., 2001; NAUMANN, 2009). FTIR spectroscopy, combined with attenuated total reflection (ATR), was recently applied successfully in root discrimination of pea and oat (NAUMANN et al., 2010).

In this study we want to test FTIR-ATR spectroscopy to discriminate roots of closely related crop/weed-combinations.

2. Materials and methods

2.1 Plant material

In a greenhouse experiment, maize (*Zea mays* L.), cultivar "RICARDINIO" and barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L.), provenance Göttingen, were grown as representatives of the plant family Poaceae. As Chenopodiaceae species, sugar beet (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* var. *altissima* DÖLL.), cultivar „ISABELLA KWS“ and common lambsquarters (*Chenopodium album* L.), provenance Göttingen, were cultivated. Plants were sown in a sand-compost (50/50 %) mixture in single species pots (11 x 11cm) with two plants per pot and in mixtures with one crop and one weed species per pot (Tab. 1). Three replicates of crop/weed-combinations in single and mixture pots were randomly distributed within the greenhouse. Maize/barnyard grass and sugar beet/common lambsquarters were cultivated under natural light conditions from March - May 2011 for 33 days and 55 days, respectively. Maize was harvested at BBCH (MEIER, 1997) 15-16 and barnyard grass at BBCH 23. Sugar beet was classified as BBCH 27-28, while common lambsquarters reached BBCH 59-63. Air temperature during growing period ranged from 10.5 °C to 37.5 °C and soil temperature averaged at 20 °C.

Roots of harvested plants were rinsed with a soft waterjet to remove soil particles. In total, six rootlets per plant were selected and placed in 2 ml reaction tubes. Two rootlets of 1 cm length were collected at the basis of the root system, in the middle section of a root and at root tips. Additionally, taproot segments were collected from sugar beet and common lambsquarters. One of the two root segments were dried immediately at 50 °C for two days before spectra were recorded by FTIR-ATR spectroscopy. The second root segment was freshly subjected to FTIR-ATR spectroscopy and dried afterwards.

Tab. 1 Species combination, BBCH stage at harvest, date of harvest and number of replicates.

Tab. 1 *Artenkombinationen pro Topf, BBCH-Stadium bei der Ernte, Erntetermin und Anzahl der Wiederholungen.*

Species combination	BBCH at harvest	Date of harvest	Replicates
Maize/maize	15-16	2 May 2011	3
Barnyard grass/barnyard grass	23	2 May 2011	3
Maize/barnyard grass	15-16/23	2 May 2011	3
Sugar beet/sugar beet	27-28	24 May 2011	3
C. lambsquarters/c. lambsquarters	59-63	24 May 2011	3
Sugar beet/c. lambsquarters	27-28/59-63	24 May 2011	3

2.2 FTIR-ATR spectroscopy

Spectral analysis was accomplished by a FTIR spectrometer (Alpha, Bruker Optics, Ettlingen, Germany) with an ATR devise (diamond crystal). The root segments were placed on top of the ATR crystal, the infrared beam is totally reflected at the interface between the sample and the crystal. At the interface, the radiation interacts with the sample and is attenuated (approximate penetration depth into the sample: 1-2 µm). Spectra were recorded with a resolution of 4 cm⁻¹ and 64 scans in the spectral range of 4000-400 cm⁻¹. The FTIR spectrum is calculated from the attenuated beam and displayed as absorbance against wavenumber (cm⁻¹).

Cluster analyses were conducted with the software OPUS (Version 6.5, Bruker Optics, Ettlingen, Germany). Spectra were pre-processed by calculating the first derivative, vector-normalization and offset-correction. Cluster dendrogram was constructed by means of Euclidian distance and Ward's

algorithm. The differences of spectral patterns were expressed as heterogeneity.

3. Results

3.1 Spectral patterns of roots

The spectra of dry roots showed similar peak distribution between wavenumber 400 cm^{-1} and 1800 cm^{-1} , reaching the highest absorption rates at 3292 cm^{-1} and 3328 cm^{-1} . Furthermore, all species demonstrated a peak from 2921-2818 cm^{-1} (Fig. 1). Peak distribution and height differed among species from 1800-400 cm^{-1} . All species had a maximum peak between 1030 cm^{-1} and 1028 cm^{-1} .

Dry rootlets of maize and barnyard grass demonstrated the highest absorption rate of tested species at 3328 cm^{-1} and 1030 cm^{-1} . In contrast to sugar beet and common lambsquarters, maize and barnyard grass spectra differed in peak location. Barnyard grass root spectra showed a characteristic peak at 1637 cm^{-1} while maize root spectra revealed a distinct peak at 1571 cm^{-1} (Tab. 2).

Tab. 2 Absorption peaks of dry rootlets of maize, barnyard grass, sugar beet, and common lambsquarters. Characteristic peaks are highlighted in bold numbers.

Tab. 2 *Absorptionspeaks von getrockneten Mais-, Hühnerhirse-, Zuckerrübe- und Weißer Gänsefußwurzeln. Fett geschriebene Wellenzahlen markieren charakteristische Absorptionspeaks.*

Species	Absorption peaks (wavenumber cm^{-1})
Maize	3328, 2918, 1571 , 1369, 1245, 1028
Barnyard grass	3328, 2919, 1637 , 1368, 1246, 1030
Sugar beet	3292, 2921, 1619, 1415 , 1319 , 1030
Common lambsquarters	3308, 2919, 1733 , 1623, 1371, 1319, 1240 , 1028

Spectra of dry sugar beet and common lambsquarters roots showed similar peak location except between wavenumber 1800 cm^{-1} and 1200 cm^{-1} . In this range, common lambsquarters roots offered absorption peaks at 1733 cm^{-1} and 1240 cm^{-1} , whereas sugar beet roots presented a peak at 1415 cm^{-1} .

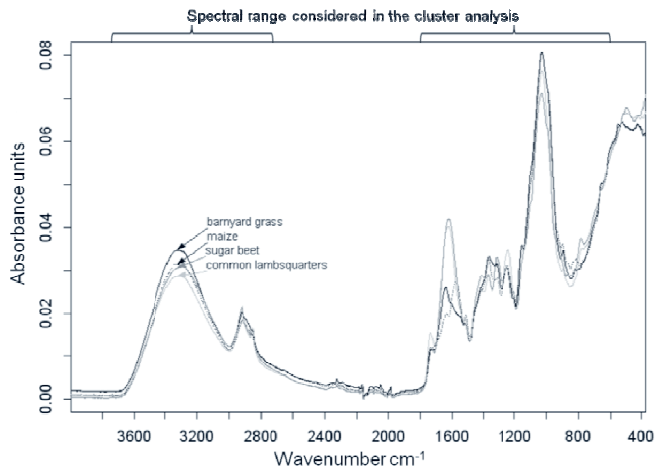


Fig. 1 Mean FTIR-ATR spectra of dry roots of maize, barnyard grass, sugar beet, and common lambsquarters. Means are calculated of three (root basis, middle, and tip section) and four (plus taproot) root segments of nine individuals per species. Data are vector-normalised and offset-corrected. Brackets indicate the spectral range considered in the cluster analysis.

Abb. 1 *Absorption der FTIR-ATR-Spektren von getrockneten Mais-, Hühnerhirse-, Zuckerrübe- und Weißer Gänsefußwurzeln. Die Mittelwerte der Spektren wurden gebildet aus drei (Wurzelbasis, -mitte und -spitze), bzw. vier (Pfahlwurzel) Wurzelsegmenten der jeweiligen Arten mit neun Individuen pro Art. Die Daten sind vektornormiert und offset-korrigiert. Die Klammern kennzeichnen den spektralen Bereich, der in der Clusteranalyse berücksichtigt wurde.*

3.2 Root discrimination by cluster analysis

Similarities of spectra were analysed by cluster analysis. Cluster analysis of spectra from maize and barnyard grass roots revealed a separation according to species (Fig. 2A). The intra-specific heterogeneity of barnyard grass was 1.18 and 2.30 in maize. The inter-specific heterogeneity of maize and barnyard grass was 3.98 and therefore much higher than the respective intra-specific one. A distinct separation of roots according to species was displayed by cluster analysis of sugar beet and barnyard grass root spectra. Sugar beet showed intra-specific heterogeneity of 1.97 and common lambsquarters grouped at 2.24, which is much lower than their inter-specific heterogeneity of 6.34 (Fig. 2B).

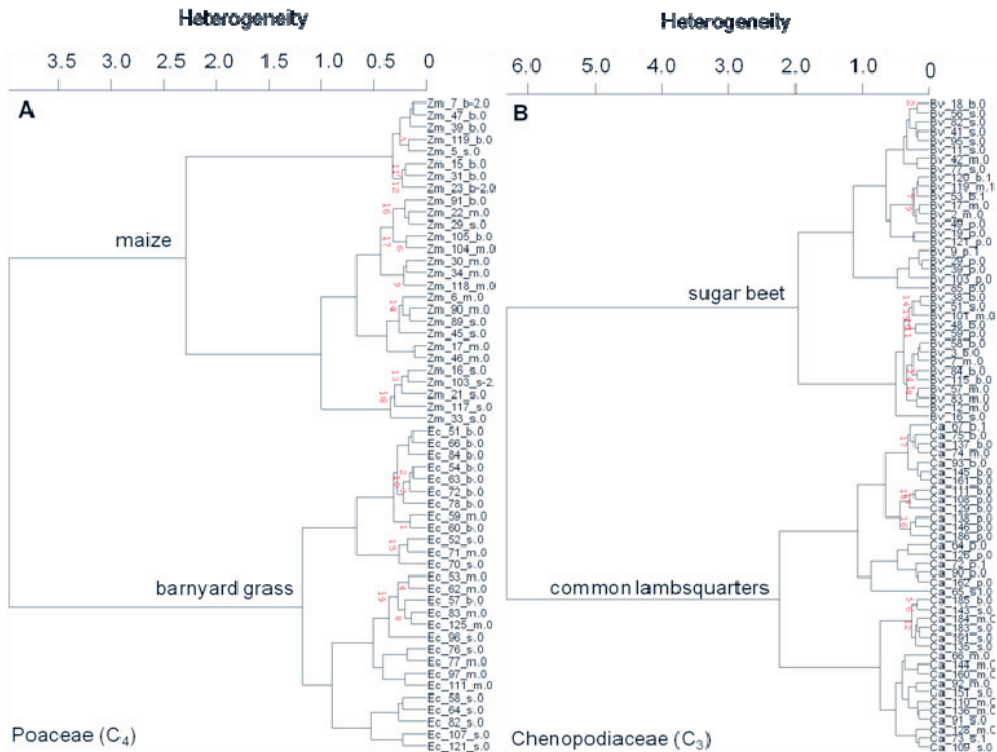


Fig. 2 Cluster analysis of FTIR-ATR spectra of maize, barnyard grass, sugar beet, and common lambsquarters. The first derivative was calculated and spectra were vector-normalized. Each spectra is labelled with species abbreviation (Zm=*Zea mays*, Ec=*Echinochloa crus-galli*, Bv=*Beta vulgaris*, Ca=*Chenopodium album*), sample number, and selected root section (b=basis, m=middle, s=tip, p=taproot). Cluster analyses are calculated of three (root basis, middle, and tip section) and four (plus taproot) root segments of nine individual per species. The spectral range from 3750-2750 cm^{-1} and 1800-600 cm^{-1} was considered.

Abb. 2 Clusteranalyse der FTIR-ATR-Spektren von Mais- und Hühnerhirsewurzeln (A), sowie Zuckerrübe- und Weißer Gänsefußwurzeln (B). Die Daten wurden mit einer Vektornormierung und der ersten Ableitung vorbehandelt. Jedes Spektrum ist mit der Artabkürzung (Zm=Mais, *Zea mays*; Ec=Gemeine Hühnerhirse, *Echinochloa crus-galli*; Bv=Zuckerrübe, *Beta vulgaris*; Ca=Weißer Gänsefuß, *Chenopodium album*), Probennummer und dem Wurzelabschnitt (b=Basis, m=Mitte, s=Spitze, p=Pfahlwurzel) gekennzeichnet. In der Clusteranalyse sind Wurzelsegmente von neun Individuen und der spektrale Bereich von 3750-2750 cm^{-1} sowie 1800-600 cm^{-1} berücksichtigt.

Cluster analyses of dry root spectra revealed a grouping of rootlets of the same segment. The maize and barnyard grass cluster showed subcluster of rootlets from the root basis (labelled b). Root

segments collected at root basis and taproots (labelled p) accumulated in the cluster of common lambsquarters.

Fresh roots of maize and barnyard grass showed very similar spectra with marginal differences in peak height. Cluster analysis revealed no clear separation of root spectra according to species. Spectra of sugar beet and common lambsquarters also demonstrated very similar peak location but differed in peak height. Spectra of sugar beet had higher absorption rates in the range of 4000-600 cm^{-1} than those of barnyard grass. A complete separation of root spectra according to species was possible with taproots but not with other segments.

4. Discussion

4.1 Root discrimination by cluster analyses

FTIR-ATR spectra represent the chemical composition of a sample. Corresponding to the substance, the mid-infrared radiation is absorbed and a sample-specific spectrum is recorded (GÜNZLER and GREMLICH, 2002) which can be used as a spectral fingerprint for sample identification. FTIR spectroscopy was already used for species discrimination of bacteria and fungi (NAUMANN et al. 1991, 2005; MARIEY et al. 2001; NAUMANN 2009). The results of this study show that dry rootlets of closely related species differ in FTIR-ATR spectra. Cluster analyses of FTIR-ATR spectra reveal a complete separation of rootlets according to species. A 100 % correct discrimination of peas and oat roots by cluster analysis of FTIR-ATR spectra was demonstrated by NAUMANN et al. (2010). In the cluster analysis, pea root spectra joined at 7.1 and oat root spectra at 2.9, while inter-specific heterogeneity was 25.2. Therefore, inter-specific heterogeneity was significantly higher than intra-specific heterogeneity. Pea and oat root spectra showed distinct differences in protein related peaks which were more pronounced in peas. Hence, the higher nitrogen and protein content in above-ground biomass was also reflected in the roots. In our study, we can exclude plant family-specific differences in spectral patterns. However, the FTIR-ATR spectra of maize, barnyard grass, sugar beets and common lambsquarters show differences in peak distribution and height. There is evidence that spectral patterns of FTIR-ATR spectra display species-specific attributes. A study by ZHAO et al. (2004) used the labour-intensive KBr pellet technique to record FTIR spectra of wheat and they found out that even wheat varieties differ in spectral pattern.

The spectra of dry rootlets in our study showed more pronounced species-specific differences than inter-specific differences or plant family-specific attributes. Therefore, we could demonstrate a species-specific root discrimination by cluster analysis. Fresh root spectra of the tested species did not differ significantly in peak distribution or height and could not be completely discriminated by cluster analysis. One reason for the similarity of the spectra could be the interference by water. Water is a strong absorbing substance which can cover peaks of other components in samples. Thus, it is recommended to dry the sample before recording the FTIR-ATR spectra (HSU, 1997).

Inter-specific competition between species that grew in shared pots showed neither significant effects on spectral patterns of dry roots nor on species separation by cluster analyses. This result supports the potential of FTIR-ATR spectroscopy and its appliance in further studies to test below-ground competition between crop and weed species or in intercropping systems. FTIR-ATR spectroscopy can help to overcome the difficulty to discriminate roots of herbaceous species and should be tested with more plant species. Furthermore, the results of the present study provide the basis of species quantification in root biomass which could be used for a deeper understanding of below-ground competition processes. LEI and BAUHUS (2010) developed a model for quantification of species ratio in root biomass. Species proportion in total root biomass was determined and quantified with near-infrared spectroscopy. The generated model successfully identified species proportion in root biomass of two, three, and four tree species plus herb roots. Models for quantification are also possible with FTIR-ATR spectroscopy. One promising approach for FTIR-ATR spectroscopy could be root biomass determination via soil cores and subsequent analysis of FTIR-ATR spectra to quantify species ratio of crop and weed species. The basic principle of the quantification model is the calibration with defined artificial root mixtures with involved species. First unpublished results

showed a sound model which demonstrated good approximation of true species ratios in the validation sample.

FTIR-ATR spectroscopy showed high potential for root discrimination of closely related species of one plant family. Further studies should test the method with field material and extended species range of crop and weed species to allow a detailed view in below-ground competition processes.

Acknowledgements

The seeds of maize and sugar beet were kindly provided by KWS SAAT AG, Einbeck, Germany.

References

- CASPER, B.B. AND R.B. JACKSON, 1997: PLANT COMPETITION UNDERGROUND. ANNUAL REVIEW OF ECOLOGY AND SYSTEMATICS **28**, 545-570.
- GÜNZLER, H. AND H.-U. GREMLICH, 2002: IR SPECTROSCOPY – AN INTRODUCTION. WILEY-VCH, WEINHEIM.
- HSU, S.C.-P., 1997: INFRARED SPECTROSCOPY. IN: SETTLER, F.A. (ED.), 1997: HANDBOOK OF INSTRUMENTAL TECHNIQUES FOR ANALYTICAL CHEMISTRY, PP. 247-283. PRENTICE-HALL, NEW JERSEY.
- LEI, P. AND J. BAUHUS, 2010: USE OF NEAR-INFRARED REFLECTANCE SPECTROSCOPY TO PREDICT SPECIES COMPOSITION IN TREE FINE-ROOT MIXTURES. PLANT AND SOIL **333**, 93-103.
- MEIER, U. (ED.), 1997: GROWTH STAGES OF MONO- AND DICOTYLEDONOUS PLANTS – BBCH – MONOGRAPH. BLACKWELL WISSENSCHAFTSVERLAG, BERLIN, WIEN.
- MARIEY, L., J.P. SIGNOLLE, C. AMIEL AND J. TRAVERT, 2001: DISCRIMINATION, CLASSIFICATION, IDENTIFICATION OF MICROORGANISMS USING FTIR SPECTROSCOPY AND CHEMOMETRICS. VIBRATIONAL SPECTROSCOPY **26**, 151-159.
- NAUMANN, A. M. NAVARRO-GONZÁLEZ, S. PEDDIREDDI, U. KÜES AND A. POLLE, 2005: FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR) MICROSCOPY AND IMAGING: DETECTION OF FUNGI IN WOOD. FUNGAL GENETICS AND BIOLOGY **42**, 829-835.
- NAUMANN, A., 2009: A NOVEL PROCEDURE FOR STRAIN CLASSIFICATION OF FUNGAL MYCELIUM BY CLUSTER AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ANALYSIS OF FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR) SPECTRA. ANALYST **134**, 1215-1223.
- NAUMANN, A., G. HEINE AND R. RAUBER, 2010: EFFICIENT DISCRIMINATION OF OAT AND PEA ROOTS BY CLUSTER ANALYSIS OF FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR) SPECTRA. FIELD CROPS RESEARCH **119**, 78-84.
- NAUMANN, D., D. HELM, AND H. LABISCHINSKI, 1991: MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATIONS BY FT-IR SPECTROSCOPY. NATURE **351**, 81-82.
- WILSON J.B., 1988: SHOOT COMPETITION AND ROOT COMPETITION. JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY **25**, 279-296.
- ZHAO, H.-R., X.-Y WANG, G.-H. CHEN AND S.-M. WEN, 2004: IDENTIFICATION OF WHEAT VARIETIES BY FTIR SPECTRUM. SPECTROSCOPY AND SPECTRAL ANALYSIS **24**, 1338-1341.

Abschließende Ergebnisse zur Wirkung von langjährig pflugloser Bodenbearbeitung auf die Verunkrautung in der ökologischen Fruchtfolge Güterfelde

Final results concerning the effects of long-term ploughless farming on weed infestation in the Güterfelde organic crop rotation trial ("Ökologische Fruchtfolge Güterfelde")

Bärbel Dittmann

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Referat Ackerbau und Grünland, Güterfelde, Stahnsdorfer Damm 1, D-14532 Stahnsdorf
baerbel.dittmann@elf.brandenburg.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.092

Zusammenfassung

Im ökologischen Landbau gewinnt die pfluglose Bodenbearbeitung zunehmend an Bedeutung. Welche Wirkungen sie langfristig auf die Verunkrautung hat, zeigt die Fruchtfolge am Standort Güterfelde in Brandenburg. Der Pflugverzicht in einer 7-feldrigen Fruchtfolge wurde 16 Jahre lang durch den Einsatz von Scheibenegge und Schwerkgrubber realisiert. Die dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitung erhöhte die Unkrautanzahl zur Frühjahrsbonitur vor Silomais auf das 5,9-fache bei monocotylen und auf das 1,6-fache bei dicotylen Unkräutern im Vergleich zur Variante mit Pflugeinsatz. Der Gesamtdeckungsgrad der Verunkrautung stieg auf das 4,7-fache. Auch im konkurrenzschwachen Lupinenbestand erhöhte sich der Unkrautdeckungsgrad auf das 5-fache nach dauerhaft pflugloser Bodenbearbeitung. Problemungras ist *Apera spica-venti*. Die Zahl fruchtender Windhalmrispen stieg in Abhängigkeit der Konkurrenzkraft der Kulturpflanze bei Winterroggen auf das 1,9-fache, bei Wintertriticale auf das 12,4-fache. Bestandesdominierend wurde *Apera spica-venti* nach pflugloser Bodenbearbeitung in Blauer Lupine.

Der deutlich stärkeren Verunkrautung bei langjährig pflugloser Bodenbearbeitung ist im ökologisch wirtschaftenden Betrieb durch eine weitgestellte Fruchtfolge in Kombination mit einer intensiveren Unkrautbekämpfung zu begegnen. Problematisch erwies sich die langfristig starke Verungrasung mit *Apera spica-venti* bei Pflugverzicht.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, Blaue Lupine, Konkurrenzkraft, ökologischer Landbau, pfluglose Bodenbearbeitung, Unkräuter

Summary

Ploughless cropping systems are becoming increasingly important in organic farming. The crop rotation trial in Güterfelde, Brandenburg, shows the long-term effects they have on weed infestation. Ploughless farming was practiced on a crop rotation system comprising of seven fields for a period of 16 years, with disc harrows and chisel cultivators being used instead. The assessment in spring before silage maize showed that, in comparison with farming systems using ploughs, long-term no-till farming increased the level of monocotyledonous weeds by a factor of 5.9 and the level of dicotyledonous weeds by a factor of 1.6. The total weed coverage ratio increased by a factor of 4.7. Weed cover also increased by a factor of 5 in the non-competitive lupin population following long-term ploughless farming. The problem grass weed is *Apera spica-venti*. The number of silky bent grass panicles has increased in relation to the competitive ability of crop plant: For example by the factor of 1.9 in winter rye and 12.4 in winter triticale. *Apera spica-venti* dominated the blue lupin population due to ploughless farming.

Organic farms need to counteract the significantly higher degree of weed infestation following long-term ploughless farming by using suitable multiannual rotation systems combined with more intensive weed control. There is still a problem in managing the strong infestation by *Apera spica-venti* with ploughless farming for a long time.

Keywords: *Apera spica-venti*, blue lupin, competitive ability, crop rotation, organic farming, ploughless farming, weeds

1. Einleitung

Der Grundbodenbearbeitung kommt eine Schlüsselstellung im Ackerbau zu, da durch sie die Bodeneigenschaften beeinflusst werden. Vorteile wie günstige bodenbiologische, -physikalische und -chemische Effekte bei pflugloser Bodenbearbeitung sind eine Motivation, den Anteil der Pflugarbeiten im Betrieb zu verringern. Sie gehören zu den Kernzielen des Öko-Landbaus. Aber auch arbeitswirtschaftliche Gründe und der bestehende Preisdruck befördern die Bereitschaft zur Umstellung. Welche Auswirkung die kontinuierlich pfluglose Bewirtschaftung langfristig auf die Verunkrautung hat, wird am Beispiel der Fruchtfolge am Standort Güterfelde in Brandenburg dargestellt. Der Versuch hatte das Ziel, die Auswirkungen des Pflugverzichts und der organischen Düngung auf den Ertrag, die Produktqualität und die Bodenfruchtbarkeit zu prüfen. In einer 7-feldrigen Fruchtfolge steht die kontinuierlich pfluglose Bodenbearbeitung (Scheibenegge/Schwergrubber) im Vergleich zum Pflugeinsatz.

2. Material und Methoden

Der „Versuch Ökologische Fruchtfolge Güterfelde“ wurde 16 Jahre (1994-2009) bearbeitet und dann wegen des Flächenverlustes eingestellt. Die Standortbedingungen sind durch einen anlehmigen Sand (Ackerzahlen 23 – 31) und durchschnittliche Niederschläge von 545 mm im Jahr gekennzeichnet. Die 7-feldrige Fruchtfolge bestand aus folgenden Fruchtfolgegliedern: Klee gras, Kartoffeln, Winterroggen, Lupine, Triticale, Silomais, Winterroggen und Klee grasuntersaat. Jede Fruchtart steht jährlich im Feld. Geprüft wurde als Faktor A der Einfluss der Grundbodenbearbeitung (wendend mit Pflug, nicht wendend mit Scheibenegge/Schwergrubber) und als Faktor B die Wirtschaftsform (viehhaltend mit ca. 0,7 GV/ha Stallungeinsatz, viehlose Bewirtschaftung ohne Stallungeinsatz). In den viehlosen Varianten erfolgte eine mineralische Entzugsdüngung mit Kalium. Der Versuch wurde einheitlich mit Erhaltungskalkungen versorgt. Die Versuchsanlage umfasste 28 Prüfglieder (vier Prüfglieder x sieben Prüffelder) und vier Wiederholungen. Pflegemaßnahmen erfolgten an Standort-, Witterungs- und Bodenverhältnisse, Fruchtart und Unkrautentwicklung angepasst und in allen Prüfgliedern gleich. Getreide und Lupinen wurden ein- bis zweimal gestriegelt, bei Kartoffeln und Mais kamen Striegel, Hacke und Häufler zum Einsatz. Die Erhebung der Unkrautflora erfolgte in mehreren Einzeljahren im Herbst und Frühjahr auf 0,25 m² in 4-facher Wiederholung vor der mechanischen Unkrautbekämpfung. Dabei wurden die Unkrautdichte (Pflanzen/m²) und der Deckungsgrad (%) bonitiert.

3. Ergebnisse

Leitungras war *Apera spica-venti*. Leitunkräuter waren *Veronica* spp., *Polygonum convolvulus*, *Viola arvensis*, *Arenaria serpyllifolia*, *Anthemis arvensis*, *Papaver argemone* und *Myosotis arvensis*. *Agropyron repens* und *Cirsium arvense* waren kein Problem im Versuch und wurden durch die Grundbodenbearbeitung nicht beeinflusst. Nach neun Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung erhöhte sich die Anzahl Unkräuter im Vergleich der pfluglosen Bearbeitung zu den gepflügten Varianten bei Winterroggen im Frühjahr 2002 auf das 1,8-fache, bei Blauer Lupine auf das 2,0-fache. Die Verungrasung verstärkte sich in den pfluglosen Varianten deutlich. Im Winterroggen wurde der Ungrasbesatz auf das 7-fache, bei Blauer Lupine auf das 36,5-fache angehoben (Tab. 1). Nach 16 Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung erhöhte sich die Unkrautanzahl zur Frühjahrsbonitur vor Silomais auf das 5,9-fache bei monokotylen und auf das 1,6-fache bei dikotylen Unkräutern in der Variante dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflugeinsatz (Tab. 2). Der Gesamtdeckungsgrad der Verunkrautung stieg auf das 4,7-fache. Im konkurrenzschwachen Lupinenbestand erhöhte sich der Deckungsgrad auf das 4,0-fache nach dauerhaft pflugloser Bodenbearbeitung. Auffällig war die stetige Erhöhung der Verunkrautung durch *Polygonum convolvulus*, dessen Bekämpfung im Lupinenbestand nicht ausreichend möglich ist. Problemungras war *Apera spica-venti*. Die Zahl fruchtender Windhalmrispen stieg nach 16 Jahren bei Winterroggen auf das 1,9-fache, bei Wintertriticale auf das 12,4-fache. In Lupinen wurde der Windhalm bei pflugloser Bodenbearbeitung bestandesdominierend.

Der Fremdbesatz (Unkrautsamen und Stroh) im Erntegut wurde für die Jahre 2007-2009 verrechnet.

Er wird durch Jahr, Kulturpflanze und Bodenbearbeitung beeinflusst. Die pfluglose Bodenbearbeitung führte tendenziell zu einer Erhöhung des Fremdbesatzes im ungereinigten Erntegut. Bei Winterroggen und Blauer Lupine erhöhte sich der Fremdbesatz im dreijährigen Mittel auf das 1,6-fache und bei Wintertriticale auf das 2,8-fache verglichen mit der gepflügten Variante.

Tab. 1 Entwicklung der Verunkrautung im Vergleich zum Pflugeinsatz nach neun Jahren.

Tab. 1 *Development of weed infestation in comparison with using plough after nine years.*

Termin	Kultur	Kenngroße	Pfluglos (Faktor Erhöhung)
03/2002	Winterroggen	Deckungsgrad	1,4
		Anzahl Dikotyle/m ²	1,8
		Anzahl Monokotyle/m ²	7,0
04/2002	Blaue Lupine	Anzahl Dikotyle/m ²	2,0
		Anzahl Monokotyle/m ²	36,5

Tab. 2 Entwicklung der Verunkrautung im Vergleich zum Pflugeinsatz nach 16 Jahren.

Tab. 2 *Development of weed infestation in comparison with using plough after 16 years.*

Kultur	Termin	Kenngroße	Pfluglos (Faktor Erhöhung)
Vor Silomais	03/2009	Deckungsgrad	4,7
		Anzahl Dikotyle/m ²	1,6
		Anzahl Monokotyle/m ²	5,9
Wintertriticale	06/2009	Deckungsgrad	1,4
		Windhalmrispen/m ²	12,4
Winterroggen	06/2009	Deckungsgrad	1,3
		Windhalmrispen/m ²	1,9
Blaue Lupine	07/2009	Deckungsgrad	4,0
		Windhalmrispen/m ²	160,0

4. Diskussion

Die 7-feldrige Fruchtfolge bietet in ihrer Vielfalt und durch den Wechsel von Halm- und Hackfrüchten sowie von Winter- und Sommerkulturen gute Voraussetzungen für eine Unkrautbekämpfung mit geringem Aufwand und guter Wirkung. *Agropyron repens* und *Cirsium arvense* konnten sich in dieser weitgestellten Fruchtfolge sowohl in den gepflügten als auch in den pfluglos bearbeiteten Varianten im Versuchszeitraum nicht ausbreiten. Deutlich wurden die Unterschiede jedoch bei den nicht ausdauernden Unkraut- und Ungrasarten. Der Unkrautbesatz in Winterroggen und Wintertriticale verdoppelte sich durchschnittlich nach dauerhaft pflugloser Bodenbearbeitung. Durch den erhöhten Fremdbesatz im Erntegut vermindert sich die Druschleistung und erhöhte Kornfeuchten sind unvermeidlich. Das führt insgesamt zu einem höheren Reinigungs- und Trocknungsaufwand. Dem verstärkten Unkrautbesatz kann durch eine intensivere mechanische Bekämpfung begegnet werden. Zum Problem wurde der Ungrasbesatz mit *Apera spica-venti*. Die starke Zunahme von *Apera spica-venti* ist zum einen von der Konkurrenzkraft der Kulturpflanze abhängig, ist andererseits jedoch über einen langen Zeitraum ausschließlich pflugloser Bodenbearbeitung mit mechanischen Pflegemaßnahmen schwer zu beherrschen. Die Stoppelbearbeitung nimmt hier eine Schlüsselstellung ein. Der deutlich stärkeren Verunkrautung nach langjährig pflugloser Bodenbearbeitung ist im ökologisch wirtschaftenden Betrieb durch eine weitgestellte Fruchtfolge mit mehrjährigem Klee gras und hohen Blattfruchtanteilen in Kombination mit der Unkrautbekämpfung zu begegnen.

Auffällig war im Versuchszeitraum, dass am Markt gekaufte Partien ökologisch produzierten Saatgutes vermehrt durch Unkrautsamen belastet waren und so auch neue, nicht standorttypische Arten in den Versuch eingeschleppt wurden. Seltene Unkrautarten traten jedoch auch nach

langjähriger ökologischer Wirtschaftsweise nicht auf. Das unterstreicht die beschriebene Situation im „Karlstadter Positionspapier zum Schutz der Ackerwildkräuter“ (VAN ELSSEN und BERG, 2006), in dem die Ausdehnung des Ökolandbaus als Schutzkonzept als nicht ausreichend angesehen wird.

Literatur

- DITTMANN, B. UND J. ZIMMER, 2011: ABSCHLIEßENDE ERTRAGSERGEBNISSE ZUR WIRKUNG VON PFLUGLOSER BODENBEARBEITUNG UND ORGANISCHER DÜNGUNG IN DER ÖKOLOGISCHEN FRUCHTFOLGE GÜTERFELDE. JAHRESBERICHT 2010 LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU. SCHRIFTENREIHE DES LANDESAMTES FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND FLURNEUORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG, ABTEILUNG LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU, REIHE LANDWIRTSCHAFT. BAND **12**, HEFT I, 32-33.
- DITTMANN, B. UND J. ZIMMER, 2010: VERSUCHE ZU REDUZIERTER BODENBEARBEITUNG IM ÖKOLANDBAU, ÖKOLOGISCHE FRUCHTFOLGE GÜTERFELDE. IN: SCHMIDT, H. (HRSG.), 2010: ÖKO-ACKERBAU OHNE TIEFES PFLÜGEN, WISSENSCHAFTLICHE SCHRIFTENREIHE ÖKOLOGISCHER LANDBAU. BAND **6**, 227-231.
- DITTMANN, B. UND H. HANFF, 2010: WIRKUNG VON PFLUGLOSER BODENBEARBEITUNG UND ORGANISCHER DÜNGUNG AUF DIE WIRTSCHAFTLICHKEIT IN DER ÖKOLOGISCHEN FRUCHTFOLGE GÜTERFELDE. JAHRESBERICHT 2009 LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU. SCHRIFTENREIHE DES LANDESAMTES FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND FLURNEUORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG, ABTEILUNG LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU, REIHE LANDWIRTSCHAFT. BAND **11**, HEFT V, 33-34.
- DITTMANN, B. UND J. ZIMMER, 2009: NÄHRSTOFFFLÜSSE IM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU AM BEISPIEL DER FRUCHTFOLGE IN GÜTERFELDE. JAHRESBERICHT 2008 LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU. SCHRIFTENREIHE DES LANDESAMTES FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND FLURNEUORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG, ABTEILUNG LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU, REIHE LANDWIRTSCHAFT. BAND **10**, HEFT LLL, 32-33.
- HIMSTEDT, M. UND T. VAN ELSSEN 2006: VEGETATIONSKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN AUF ÄCKERN DES ÖKOLOGISCHEN LANDBAUS AM BEISPIEL AUSGEWÄHLTER BETRIEBE IN MITTEL- UND NORDDEUTSCHLAND. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 597-604.
- VAN ELSSEN, T., M. BERG ET AL., 2006: KARLSTADTER POSITIONSPAPIER ZUM SCHUTZ DER ACKERWILDKRÄUTER. ERARBEITET VON DEN TEILNEHERINNEN UND TEILNEHMERN DER „TAGUNG ZUM SCHUTZ DER ACKERWILDKRAUTFLORA“ AM 25./26.06.2004 IN KARLSTADT AM MAIN. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 527-533.
- ZIMMER, J. UND B. DITTMANN, 2010: GUTE FACHLICHE PRAXIS DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN BODENNUTZUNG DILUVIALER ACKERBÖDEN BRANDENBURGS – AKTUELLE SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN DAUERVERSUCHEN GROß KREUTZ (P60, M4) UND DER ÖKOLOGISCHEN FRUCHTFOLGE GÜTERFELDE. SCHRIFTENREIHE DES LFULG SACHSEN, HEFT **15/2010**, MEHRLÄNDERPROJEKT AGRARBEZOGENER BODENSCHUTZ, 31-35.
- ZWERGER, P. UND H. U. AMMON (HRSG.), 2002: UNKRAUT – ÖKOLOGIE UND BEKÄMPFUNG. ULMER, STUTTGART.

Langfristige vegetationskundliche Untersuchungen auf Dauerbrachen ehemaliger Ackerstandorte und auf Saumbiotopen zur floristischen Diversität und dem Auftreten bemerkenswerter Ackerwildkrautarten

Long-term vegetative surveys of permanent set-aside fields and of field margins on plant diversity and remarkable arable weeds

Barbara Jüttersonke^{1*}, Klaus Arlt¹ & Petra Rischewski²

¹ehem. Biologische Bundesanstalt, Institut für Folgenabschätzung im Pflanzenschutz, D-Kleinmachnow

²Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, D-14532 Kleinmachnow

*Korrespondierender Autor, b.juettersonke@gmx.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.093

Zusammenfassung

Im Rahmen eines ökologischen Monitorings wird die Entwicklung der Vegetation im Verlauf von 18 bzw. 21 Jahren, die auf Dauerbeobachtungsflächen ehemaliger Ackerstandorte ermittelt wurde, dargestellt. Außerdem werden Ergebnisse 10- bzw. 12-jähriger vegetationskundlicher Untersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen von Saumbiotopen gezeigt. Die Erhebungen wurden auf Diluvialstandorten in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg vorgenommen.

Die Ergebnisse weisen auf eine unterschiedliche Flora abhängig vom Standort, der Landschaft und der Dauer der Stilllegung hin. Auch nach langfristiger Stilllegung konnten in wenigen Fällen noch seltene Ackerwildkrautarten, wie *Anthoxanthum aristatum* (Grannen-Ruchgras) oder *Consolida regalis* (Feld-Rittersporn) nachgewiesen werden. Auf einem armen Sandstandort entwickelte sich eine typische Flora mit dem Auftreten von Sandtrockenrasenpflanzen.

Auf Saumbiotopen, die an Ackerflächen oder Dauerbrachen angrenzen, konnte im Verlauf der Vegetationsuntersuchungen in Abhängigkeit von Standort, Landschaft und angrenzenden Bewirtschaftungsmaßnahmen teilweise eine erhebliche floristische Diversität mit sporadischem, aber auch konstantem Auftreten bemerkenswerter Ackerwildkrautarten, wie *Consolida regalis*, *Veronica triphyllos* (Dreiteiliger Ehrenpreis) oder *Camelina microcarpa* (Kleinfrüchtiger Leindotter), ermittelt werden.

Die langfristigen Vegetationsbeobachtungen zeigen, dass auf Dauerbrachen teilweise eine bemerkenswerte floristische Diversität erzielt werden kann. Zum Erhalt von seltenen Ackerwildkrautarten sind 20-jährige Stilllegungen mit Selbstbegrünung aber nur sehr bedingt geeignet. Saumbiotope können gegebenenfalls als Refugium für Ackerwildkrautarten dienen.

Stichwörter: *Camelina microcarpa*, *Consolida regalis*, Monitoring, Sandtrockenrasenpflanzen, Vegetationsentwicklung, *Veronica triphyllos*

Summary

An ecological monitoring was carried out to find out how the vegetation succeeded on permanent set-aside fields over 18 and 21 years, respectively. Furthermore, the vegetation of field margins under permanent monitoring was surveyed over 10 and 12 years, respectively. The surveys took place on diluvial sites in the federal states Mecklenburg-Vorpommern and Brandenburg.

Plant diversity depends on the site, landscape and period of set-aside. Even after an extended period of set-aside a few rare arable weeds like *Anthoxanthum aristatum* (annual vernal grass) and *Consolida regalis* (field larkspur) were found. A poor sandy site has been colonized by an interesting flora including plants typical of sandy dry meadow.

Field margins adjacent to fields or permanent fallows partly showed considerable plant diversity. It depends on the site, landscape and management of adjacent fields and includes the sporadic but also permanent occurrence of arable weeds like *Consolida regalis*, *Veronica triphyllos* (fingered speedwell) or *Camelina microcarpa* (little-pod false flax).

The long-term vegetative monitoring shows that permanent set-aside fields may produce remarkable plant diversity. However, 20-years set-aside with self-greening supports the maintenance of rare arable weeds to a very limited extent only. Field margins could be used as refuge for arable weeds.

Keywords: *Camelina microcarpa*, *Consolida regalis*, monitoring, sandy dry meadow species, vegetation succession, *Veronica triphyllos*

1. Einleitung

Bisher fehlen noch weitgehend Erkenntnisse über die langfristigen Veränderungen der Vegetation auf Dauerbrachen und in Saumbiotopen unter dem Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf angrenzenden Ackerflächen. Die aus diesem Grunde angesetzten Dauerbeobachtungen sollten Datenmaterial auch für die Entwicklung sinnvoller Maßnahmen des Artenschutzes liefern, so dass die Beobachtung des Auftretens und der Dynamik bemerkenswerter und gefährdeter Ackerwildkrautarten in ihren Refugialbiotopen wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen auf ausgewählten Referenzflächen in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg wurde.

2. Material und Methoden

2.1 Dauerbrachen

Langfristige Beobachtungsprogramme zur Vegetationsentwicklung auf Dauerbrachen mit Selbstbegrünung wurden in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg in verschiedenen Naturräumen, und zwar in der Mecklenburger Seenplatte (im Malchiner Becken) und in den Mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen (in der Teltow-Platte und im Baruther Tal) durchgeführt. Um möglichst alle in der Vegetationsperiode auftretenden Pflanzenarten mit ihren Deckungsgraden (%) zu erfassen, wurden die Flächen an bis zu vier verschiedenen Terminen pro Jahr untersucht. Die vegetationskundlichen Erhebungen wurden in Anlehnung an die Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) vorgenommen. Die Nomenklatur der Pflanzenarten richtet sich nach ROTHMALER (JÄGER, 2005).

Alle untersuchten selbstbegrünenden Brachen wurden bis 1990 ackerbaulich bewirtschaftet und dann bis 2011 stillgelegt (ARLT und JÜTTERSONKE, 2000; JÜTTERSONKE und ARLT, 2008).

Die Vegetationsaufnahmen im Malchiner Becken erfolgten jährlich auf einer Dauerbrache in einem Landwirtschaftsbetrieb westlich des Malchiner Sees bei Glasow seit dem Jahr 1994 bis 2011. Auf der Fläche wurden von uns zusätzlich Parzellen von jeweils 50 m² von 1994 bis 2006 angelegt, um die Entwicklung der Vegetation nach unterschiedlichen Schnittterminen zu untersuchen. Zur weiteren Beobachtung wurde die ehemalige Versuchsfläche mit Hilfe von GPS eingemessen. Alle ehemaligen Parzellen begannen der Landwirtschaftsbetrieb ab 2007 einmal jährlich zusammen mit der gesamten Fläche zu mähen.

Im Baruther Tal bei Buchholz wurde eine Brache ab 1991 jährlich bis 2011 vegetationskundlich auf ca. 2500 m² untersucht.

In der Teltow-Platte in Stahnsdorf erfolgten die Beobachtungen seit 1991 bis 2011 auf drei Teilflächen von je 50 m². Die Brache wurde ab 1998 jährlich gemäht.

Für die Auswertung zur Vegetationsentwicklung in den Beobachtungsjahren sowie der Ermittlung der Artendiversität wurden neben der Erhebung der auftretenden Pflanzenarten auch die Artenzahl/Jahr und die Deckungsgrade der einzelnen Arten auf den Beobachtungsflächen herangezogen. Die Verteilung der Arten auf den Beobachtungsflächen wurde anhand der Evenness/Jahr errechnet. Der Höchstwert der Evenness kann 100 betragen. Je stärker eine oder wenige Arten vorherrschen, desto mehr geht der Evenness-Wert gegen 0. Die mittleren Stickstoffzeigerwerte nach ELLENBERG (1992) wurden jährlich für jede Beobachtungsfläche ermittelt.

2.2 Saumbiotope

Die Vegetation wurde in den Naturräumen Mecklenburger Seenplatte, in den Mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen und im Uckermärkischen Hügelland auf 15 Saumbiotopen in 12 Jahren erfasst (JÜTTERSONKE und ARLT, 2006). Die Säume wurden bis zu vier verschiedenen Terminen pro Jahr untersucht. Es wurden alle vorkommenden Pflanzenarten mit ihrem Deckungsgrad (%) auf einer Länge von 50 bis ca. 200 m und der gesamten Breite (mit einer

Ausnahme) des ausgewählten Saumbiotops aufgenommen. Die vegetationskundlichen Untersuchungen erfolgten in Anlehnung an die Methode von BRAUN-BLANQUET (1964). Die Auswertungen der Untersuchungen wurden mit den unter 3.1 beschriebenen Methoden durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Dauerbrachen

Vegetationsentwicklung auf einer Dauerbrache im Malchiner Becken

Auf besserem Boden der Diluvialstandorte im Malchiner Becken bei Glasow wurde die untersuchte Dauerbrache aufgrund ihrer kuppigen Lage und der damit schwierigen Bewirtschaftung durch den Landwirtschaftsbetrieb langfristig stillgelegt. Zu Beginn der Vegetationsaufnahmen trat *Elytrigia repens* (Gewöhnliche Quecke) in sehr hohen Deckungsgraden auf. Die unterschiedliche Vegetationsentwicklung bis 2007 in den Schnittvarianten ist von JÜTTERSONKE und ARLT (2008) dargestellt.

Tab. 1 Artenzahl (A) und Evenness (E) der vegetationskundlich untersuchten Dauerbrache bei Glasow.

Tab. 1 Number of species (A) and evenness (E) of vegetative surveys of permanent set-aside fields close to Glasow.

Jahr	1994		1996		1998		2000		2002		2004		2006		2008		2010		2011	
	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E
Ohne Schnitt	13	13	11	23	27	53	26	54	21	61	24	63	24	66	16	57	18	52	16	41
Juni-Schnitt	13	32	24	44	24	44	26	48	20	64	18	50	18	47	10	33	13	25	11	45
Juli-Schnitt	8	16	11	26	24	55	29	57	21	39	21	38	23	40	16	36	20	49	19	40

Auch ab 2007, seitdem die ganze Fläche des Versuches jährlich einmal geschnitten wurde, spiegelt sich noch die Versuchsanordnung im Auftreten der Arten und deren Häufigkeit annähernd wider. Tabelle 1 zeigt die Artenzahl und anhand der Evenness (E)/Jahr die Verteilung der Arten. Der Anteil von Arten, die mäßig bis stickstoffreiche Standorte anzeigen, blieb auch im Jahr 2011, d. h. nach 21 Jahren der Stilllegung relativ hoch.

Das Artenspektrum hat sich im Verlauf der Beobachtungsjahre stark verändert. *Holcus lanatus* (Wolliges Honiggras), aber auch *Arrhenatherum elatius* (Glatthafer) sowie *Daucus carota* (Wilde Möhre) dominieren jetzt auf der Fläche und verdrängten *Elytrigia repens*. Auf der gesamten Fläche wurden unter dem Einfluss des Juni-Schnitts als bemerkenswerte Arten *Lepidum campestre* (Feld-Kresse), *Odontites vernus* (Roter Zahntrost), *Hieracium murorum* (Wald-Habichtskraut), *Primula veris* (Wiesen-Primel) und *Astragalus glycyphyllos* (Bärenschote) gefunden. Auffällig auf der Fläche war auch das größere Vorkommen von *Senecio jacobaea* (Jakobs-Kreuzkraut). Einjährige Ackerunkräuter wurden auf der Dauerbrache fast vollständig verdrängt und traten in den letzten sechs Untersuchungsjahren mit Ausnahme von *Galium aparine* (Kletten-Labkraut) und *Myosotis stricta* (Sand-Vergißmeinnicht) nicht mehr auf. Die Fläche hat jetzt das Stadium des Wirtschaftsgrünlandes (Molinio-Arrhenatheretea) erreicht.

Vegetationsentwicklung auf einer Dauerbrache im Baruther Tal

Die untersuchte Fläche befindet sich auf ärmstem Sandstandort bei Wittbrietzen. Auf der Brache verlief die Entwicklung von der Segetalgesellschaft zu Elementen des Sandtrockenrasens. Die stickstoffarme Standorte anzeigenden Arten haben sich zunehmend ausgebreitet (Tab. 2). Auf der Brache wurde als Besonderheit das konstante Auftreten von *Anthoxanthum aristatum* (Grannen-Ruchgras) vom Beginn der Stilllegung bis zum Jahre 2010 beobachtet. Einige andere Ackerwildkrautarten wurden auch noch bis zum Jahre 2011 auf der Fläche gefunden, davon erwähnenswert sind *Veronica triphyllos*, *Viola arvensis* (Acker-Stiefmütterchen) und *Myosotis arvensis* (Acker-Vergißmeinnicht).

Tab. 2 Artenzahl, mittlere Stickstoffzeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1992) und Evenness der Dauerbrache bei Wittbrietzen.

Tab. 2 Number of plant species, mean nitrogen indicator values according to ELLENBERG et al. (1992) and evenness for permanent set-aside fields close to Wittbrietzen.

Jahr	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011
Artenzahl	21	24	37	42	39	42	45	50	34	45	38
Stickstoffzahl	4,4	4,3	3,8	4,7	4,3	4,1	4,7	4,6	3,9	4,5	3,8
Evenness	52	41	57	55	71	78	73	64	71	75	78

Vegetationsentwicklung auf der Dauerbrache in der Teltow-Platte

Die untersuchte selbstbegrünte Dauerbrache liegt auf einem mäßig armen Sandstandort in Stahnsdorf. Bis zum Jahre 2011 traten überwiegend Arten auf, die mäßig bis stickstoffreiche Standorte anzeigen. Das Artenspektrum hatte sich im Verlauf der Stilllegungsjahre mehrmals verändert. Als bemerkenswerte aber nicht gefährdete Arten wurden trotz Artenvielfalt nur wenige, sporadisch im Verlauf der Untersuchungsjahre auftretende Arten, wie *Agrimonia eupatoria* (Kleiner Odermennig), *Knautia arvensis* (Acker-Witwenblume), *Odontis vernus*, *Tragopogon pratensis* (Wiesen-Bocksbart), *Armeria maritima* (Gewöhnliche Grasnelke), *Erophila verna* (Frühlings-Hungerblümchen), *Veronica chamaedrys* (Gamander-Ehrenpreis) und *Jasione montana* (Berg-Sandknöpfchen) gefunden. Als Ackerwildkrautarten traten im Jahre 2011 nur *Galium aparine* (Kletten-Labkraut), *Veronica arvensis* (Feld-Ehrenpreis) und *Myosotis arvensis* auf.

3.2 Saumbiotope

Vegetationskundliche Erhebungen auf ausgewählten Saumbiotopen im Malchiner Becken

Das Malchiner Becken zeichnet sich durch eine reliefreiche Landschaft aus. Es handelt sich in der Grundmoräne teilweise um lehmige Standorte und in der Endmoräne um sandige Standorte (WOLLERT und BOLBRINKER, 1993; MANTHEY, 2003). Die lehmigen Böden des Gebietes sind aus kalkhaltigem Geschiebemergel hervorgegangen. Daraus resultiert auch das gelegentliche Auftreten kalkliebender Pflanzenarten.

In diesem Gebiet bei Bristow wurden vegetationskundliche Erhebungen auf Saumbiotopen eines Feldweges auf beiden Seiten in einer Länge von ca. 200 m durchgeführt. Die Vegetationsaufnahmen erstreckten sich über 12 Jahre. Die angrenzenden Ackerflächen wurden auf beiden Seiten des Feldweges konventionell bewirtschaftet. Insgesamt wurde auf den Säumen eine relativ hohe Artenzahl (von 31 bis 52) mit meist mittlerer bis höherer Evenness gefunden.

Der mittlere Stickstoffzeigerwert lag in den 12 Beobachtungsjahren immer auf beiden Säumen zwischen 6 und 7 und zeigt an, dass es sich bei den Säumen um eine Vegetation mit überwiegend stickstoffliebenden Arten handelt.

Den untersuchten Saumbiotopen gemeinsam ist das jährliche Auftreten der Gräser *Arrhenatherum elatius*, *Bromus sterilis* (Taube Trespe), *Elytrigia repens* und *Dactylis glomerata* (Gewöhnliches Knaulgras) mit höheren Deckungsgraden (zwischen 10 und 40 %) gegenüber den anderen Arten, deren Deckungsgrade meist unter 10 % lagen. Syntaxonomisch wurden die Säume der ruderalen Glatthaferwiese zugeordnet. So war die Böschung (Westseite des Feldweges) jedoch floristisch qualitativ reichhaltiger gegenüber der schmalen Ostseite. Gelegentlich traten aber auch seltene und gefährdete Arten sogar auf diesem schmalen Feldrain als letztem Refugium der z. T. kalkliebenden Segetalarten auf, wie *Consolida regalis*, *Euphorbia helioscopia* (Sonnenwend-Wolfsmilch) oder auch *Camelina microcarpa* (Kleinfrüchtiger Leindotter) und *Anthemis cotula* (Stink-Hundskamille). Eine für Saumbiotope bemerkenswerte Art *Malva sylvestris* (Wilde Malve) wurde in 11 Untersuchungs Jahren auf den Säumen beobachtet.

Vegetationskundliche Erhebungen auf ausgewählten Saumbiotopen in den Mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen

Im Brandenburgischen Havelgebiet bei Groß Kreutz handelt es sich überwiegend um sandige Böden, z.T. lehmige Sandböden. Die vegetationskundlichen Erhebungen wurden in Saumbiotopen auf drei Standorten bei Groß Kreutz von 2000 bis 2011 durchgeführt. Der in JÜTTERSONKE und ARLT (2002) beschriebene Saum mit angrenzend extensiver Bewirtschaftung auf der benachbarten Ackerfläche, auf dem sich sehr schnell nach dem Beginn dieser Bewirtschaftung eine artenreiche Flora mit Sandtrockenrasenarten ausbildete, wies durch nicht bekannte äußere Einflüsse im Jahr 2011 nicht mehr eine ganz so artenreiche Flora auf. Abbildung 1 stellt die Häufigkeit der Arten mit den unterschiedlichen Stickstoffzahlen dieses Saumbiotopes sowie eines Heckensaumes mit angrenzender konventioneller Bewirtschaftung in zwei verschiedenen Beobachtungsjahren dar.

Auf einem untersuchten Wegrain, der durch eine Baumreihe mit anschließendem Saum zu einem konventionell bewirtschafteten Acker getrennt war, konnte in 10 Beobachtungsjahren *Gagea pratensis* (Wiesen-Goldstern) gefunden werden. Als weitere erwähnenswerte Segetalart auf den untersuchten Saumbiotopen bei Groß Kreutz war *Veronica triphyllos* sporadisch aufgetreten.

Im Baruther Tal auf einem breiten Straßenrand bei Buchholz, der an konventionell bewirtschaftete Äcker grenzt, konnte seit dem Jahre 2000 bis 2011 eine hohe Artenzahl mit Stickstoffzahlen, die einen mäßig bis armen stickstoffhaltigen Standort anzeigen, ermittelt werden. Von 1991 bis 1999 waren die angrenzenden Ackerflächen stillgelegt. Es traten bis zum Jahre 2011 eine Reihe bemerkenswerter Arten auf, die in JÜTTERSONKE und ARLT (2006) beschrieben sind. Die Segetalarten *Gagea pratensis* und *Veronica triphyllos* wurden in fast allen Beobachtungsjahren gefunden. Als Besonderheit wurde 2009 und 2010 *Gagea villosa* (Acker-Goldstern) entdeckt. In der Teltow-Platte bei Güterfelde auf einem Feldwegrain konnten ebenfalls in den meisten Beobachtungsjahren *Gagea pratensis* und *Veronica triphyllos* gefunden werden.

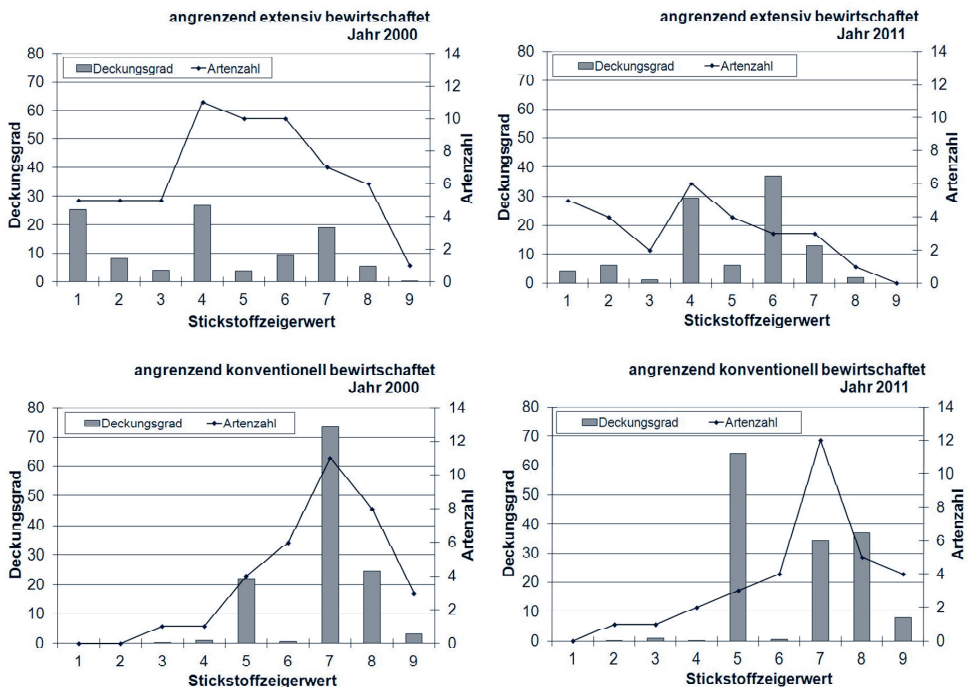


Abb. 1 Verteilung der Stickstoffzeigerwerte in der Vegetation von Saumbiotopen bei Groß Kreutz.

Fig. 1 Distribution of nitrogen indicator values within the vegetation of field margins close to Groß Kreutz.

Vegetationskundliche Erhebungen auf ausgewählten Saumbiotopen im Uckermärkischen Hügelland

Die vegetationskundlichen Erhebungen wurden im Raum Prenzlau durchgeführt. Nach PLACHTER et al. (2005) wird dieses Gebiet von flachwelligen bis flachhügeligen Grundmoränen dominiert. Auf insgesamt vier Standorten wurden die Aufnahmen in 8 bzw. 10 Jahren durchgeführt. Tabelle 3 gibt das Vorkommen bemerkenswerter bzw. gefährdeter Segetalarten in zwei der untersuchten Saumbiotope in den einzelnen Beobachtungsjahren wider. Diese Arten traten jedoch nur in geringen Deckungsgraden von < 1 % bis zu 3 % auf. Die Straßen- und Wegränder in diesem Gebiet zeichnen sich durch eine Reihe von bemerkenswerten, seltenen und gefährdeten Arten sowie regionaltypischen syntaxonomischen Einheiten aus (JÜTTERSONKE und ARLT, 2006). Vor allem die Böschungen und die Saumbiotope, die an Dauerbrachen grenzen, zeigten eine besonders hohe Qualität der Flora. In diesem Gebiet wurden noch eine Reihe von kalkliebenden Arten und Trockenrasenpflanzen in den Saumbiotopen gefunden.

Tab. 3 Vorkommen bemerkenswerter, seltener oder gefährdeter Ackerwildkrautarten in den vegetationskundlich untersuchten Saumbiotopen im Uckermärkischen Hügelland.

Tab. 3 Occurrence of remarkable, rare or threatened arable weeds in surveyed field margins in the Uckermärkisches Hügelland.

Saum-biotop /Lage	Angrenz. Bewirtschaftung	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Feldwegraine									
SO-Seite	Stilllegung	GGAPR						GGAPR	GGAPR
NW-Seite	konvent.	GGAPR	GGAAR	GGAAR		GGAPR	GGAPR	GGAAR	GGAPR GGAAR
Straßenränder									
SW-Seite	konvent.	CMAMI CNSRE GGAPR VERTR	GGAPR VERTR	CNSRE VERTR			CNSRE	CNSRE GGAPR VERTR	CNSRE GGAPR
NW-Seite	konvent.		GGAPR				CMAMI	GGAPR VERTR	CMAMI GGAPR

CMAMI = *Camelina microcarpa*, CNSRE = *Consolida regalis*, GGAPR = *Gagea pratensis*, GGAAR = *Gagea villosa*, VERTR = *Veronica triphyllos*

4. Diskussion

Die langfristigen vegetationskundlichen Untersuchungen zeigen, dass es sehr unterschiedliche Brachetypen gibt, deren Vegetationsentwicklung unterschiedlich während der Stilllegungsjahre verläuft. Der Standort (vor allem die Bodenqualität), die Landschaft, Dauer der Stilllegung, Schnittermin und Schnitthäufigkeit sowie die Intensität der Bewirtschaftung vor der Flächenstilllegung spielen eine wichtige Rolle für die Ausprägung der Vegetation. Die vorgestellten Beobachtungsergebnisse zeigen, dass die Aushagerung nur auf sehr sorptionschwachen Böden in wenigen Jahren zur Ablösung der jahrzehntelang dominierenden Segetalvegetation durch naturnahe Sandtrockenrasengesellschaften führen kann. Auf sorptionsstärkeren Böden bleiben mehr nitrophil orientierte Arten langfristig dominant und konkurrenzkräftig, wobei von Jahr zu Jahr ein ständiger Wechsel in der Dominanz der auf einem Standort siedelnden und zuwandernden Arten stattfindet. Sowohl auf den untersuchten Brachen in Mecklenburg-Vorpommern als auch in der Teltow-Platte war die konkurrenzstärkste Art im 21. Jahr der Stilllegung *Arrhenatherum elatius*. Gelegentlich ist auch ein Erhalt von seltenen oder gefährdeten Ackerwildkrautarten auf selbstbegrünten Dauerbrachen möglich, wie aus unseren Ergebnissen das Auftreten von *Anthoxanthum aristatum* und *Veronica triphyllos* auf der Brache im Baruther Tal hervorgeht. Positive Auswirkungen von Dauerbrachen mit

regional- und standorttypischen Pflanzengesellschaften auf die floristische Diversität angrenzender Saumbiotope zeigen umfangreiche vegetationskundliche Beobachtungen von JÜTTERSONKE und ARLT (2006). Zum Erhalt oder Förderung seltener oder Rote-Liste Arten der Segetalvegetation durch kleinflächige Stilllegungen innerhalb von Ackerflächen liegen Untersuchungen von PFEFFER et al. (2004) vor. Eine Anleitung zur Anlage von Naturschutzbrachen wurde von BERGER und PFEFFER (2011) herausgegeben. Bemühungen um den Erhalt der Artendiversität auf Äckern sind z. B. vom Deutschen Verband für Landschaftspflege (2010) und von VAN ELSÉN et al. (2011) dargelegt. Hier wird u. a. das Projekt „100 Äcker für die Vielfalt“ beschrieben, mit dem bereits eine Reihe von Erfolgen hinsichtlich der Förderung seltener Segetalarten erzielt wurde.

Die langfristigen vegetationskundlichen Beobachtungen auf den beschriebenen Saumbiotopen zeigen, dass die Bewirtschaftung der benachbarten landwirtschaftlichen Fläche einen Einfluss auf die Ausprägung der Pflanzengesellschaften und Artendiversität hat. Aber je nach Beschaffenheit des Saumbiotops kann auch eine artenreiche Flora trotz angrenzend konventioneller Bewirtschaftung auftreten.

Für seltene gefährdete oder Rote-Liste-Arten der Segetalflora können Saumbiotope als Refugium dienen, wenn sie von den bewirtschafteten Äckern verdrängt werden. Besonders Geophyten, wie *Gagea pratensis* oder *G. villosa* profitieren von Saumbiotopen.

Literatur

- ARLT, K. UND B. JÜTTERSONKE, 2000: VEGETATIONSENTWICKLUNG NACH LANGFRISTIGER STILLLEGUNG LANDWIRTSCHAFTLICHER FLÄCHEN. SCHRIFTENREIHE AGRARSPECTRUM **31**, 171-179.
- BERGER, G. UND H. PFEFFER (EDS.), 2011: NATURSCHUTZBRACHEN IM ACKERBAU. ANLAGE UND OPTIMIERTE BEWIRTSCHAFTUNG KLEINFLÄCHIGER LEBENSÄRÄUME FÜR DIE BIOLOGISCHE VIelfALT – PRAXISHANDBUCH -. NATUR & TEXT, RANGSDORF.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: PFLANZENSOZIOLOGIE. SPRINGER, WIEN, NEW YORK.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR LANDSCHAFTSPFLEGE, 2010: ACKERWILDKRÄUTER SCHÜTZEN UND FÖRDERN – PERSPEKTIVEN EINER LANGFRISTIGEN FINANZIERUNG UND BEWIRTSCHAFTUNG. DVL-SCHRIFTENREIHE "LANDSCHAFT ALS LEBENSRAUM" **18**.
- ELLENBERG, H., H. E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER UND D. PAULISSEN, 1992: ZEIGERWERTE VON PFLANZEN IN MITTELEUROPA. SCRIPTA GEOBOTANICA **18**, GOLTZE, GÖTTINGEN.
- JÄGER, E. J. (ED.), 2005: ROTHMALER - EXKURSIONSFLORA VON DEUTSCHLAND. BAND 2, ELSEVIER - SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG, MÜNCHEN.
- JÜTTERSONKE, B. UND K. ARLT, 2002: EINFLUSS VON EXTENSIVIERUNGSMAßNAHMEN IM PFLANZENBAU AUF DIE FLORISTISCHE DIVERSITÄT VON ACKERFLÄCHEN UND SAUMBOTOPEN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 305-309.
- JÜTTERSONKE, B. UND K. ARLT, 2006: BEWERTUNG DER QUALITÄT DER FLORA VON SAUMBOTOPEN IN DER AGRARLANDSCHAFT AUSGEWÄHLTER NATURRÄUME DEUTSCHLANDS. MITTEILUNGEN AUS DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT **407**.
- JÜTTERSONKE, B. UND K. ARLT, 2008: DER EINFLUSS VON LANGFRISTIGEN STILLLEGUNGEN EHEMALIGER ACKERSTANDORTE AUF DIE FLORISTISCHE DIVERSITÄT. NACHRICHTENBLATT DES DEUTSCHEN PFLANZENSCHUTZDIENSTES **60**, 77-81.
- MANTHEY, M., 2003: VEGETATIONSÖKOLOGIE DER ÄCKER UND ACKERBRACHEN MECKLENBURG-VORPOMMERN. DISSERTATIONES BOTANICAE **373**.
- PFEFFER, H., G. BERGER, H. SCHOBERT, S. BERNHARDT UND J. HOFFMANN, 2004: „SCHLAGINTERNE SEGREGATION“ – EIN ANSATZ ZUR ETABLIERUNG UND ENTWICKLUNG VON LANDSCHAFTSSTRUKTURELEMENTEN DURCH KLEINFLÄCHIGE ACKERSTILLLEGUNGEN. IÖR SCHRIFTEN **43**, 237-288.
- PLACHTER, H., U. STACHOW UND A. WERNER (EDS.), 2005: METHODEN ZUR NATURSCHUTZFACHLICHEN KONKRETISIERUNG DER „GUTEN FACHLICHEN PRAXIS“ IN DER LANDWIRTSCHAFT. NATURSCHUTZ UND BIOLOGISCHE VIelfALT **7**, BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ.
- VAN ELSÉN, T., S. MEYER, F. GOTTWALD, S. WEHKE, C. HOTZE, M. DIETERICH, B. BLÜMLEIN, J. METZNER UND C. LEUSCHNER, 2011: ANSÄTZE ZUR NACHHALTIGEN SICHERUNG DER BOTANISCHEN ARTENVIelfALT AUF SCHUTZÄCKERN – EINE AUFGABE FÜR BIOBETRIEBE? BEITR. 11. WISSENSCHAFTSTAGUNG ÖKOLOGISCHER LANDBAU GIEßEN (BAND 1), 173-176.
- WOLLERT, H. UND P. BOLBRINKER, 1993: ZUR WILDKRAUTFLORA UND –VEGETATION EINER STILLGELEGTEN ACKERFLÄCHE AM NORDWESTUFER DES MALCHINER SEES. ARCHIV DER FREUNDE DER NATURGESCHICHTE IN MECKLENBURG **XXXII**, 207-212.

Effects of factor reduction in energy crop rotations on weed flora

Einfluss der Faktorreduktion in Energiefruchtfolgen auf die Beikrautflora

Michael Glemnitz^{1*}, Kathrin Deiglmayr² & Franz Heimler²

¹Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung Müncheberg, Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, Germany

²Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) Straubing, Schulgasse 18, 94315 Straubing, Germany

*Corresponding author, mglemnitz@zalf.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.094

Summary

Opportunities for reductions of fertilization and weed control efforts in energy cropping are frequently posed and contrarily discussed. Beside effects on biomass yields weed flora, increments and increased weed control requirements in subsequent years are in the focus of the discussion. As part of the research project "Site-adapted Cropping Systems for Energy Crops" (EVA), the effects of factor reductions have been analysed in a crop rotation context. The trial consisted of three different crop rotations with three levels of factor reduction: 1 - no reduction, 2 - reduced nitrogen application by 30 kg/ha per crop, 3 - reduced nitrogen application and no weed management. The whole trial was replicated with one year time difference. In order to show effects of input reduction on subsequently grown cash crops, the last crop in the rotation was winter wheat for grain production in which no input reduction was performed over all plots. The field trial has been investigated regarding the effects of: Levels of fertilization and weed control, crop rotation, crop species and year of investigation on weed cover and species composition as target variables.

The results suggest that the reduction of weed control efforts showed the main effect on the weed flora. Energy crops, like maize and sorghum, seemed to be highly sensitive to reduced weed control especially during early development stages; they showed the greatest differences between the factor levels. The reduction in fertilization resulted in no or only slight differences in the weed flora. Despite strong effects in single years and crops, there were no or only little cumulative effects observed in the final crop of the crop rotations (winter wheat). Among the differences in weed species composition, the crop species explained the largest part of variance.

Keywords: Crop species, nitrogen fertilization, species composition, weeds, weed cover

Zusammenfassung

Optionen für eine Reduktion der Intensität von Düngung und Beikrautmanagement werden insbesondere vor dem Hintergrund einer energetischen Verwertung der Biomasse häufig und auch konträr diskutiert. Neben den Effekten auf die Biomasserträge der Kulturen wird häufig die Zunahme der Beikrautflora mit ihren potenziellen Folgewirkungen in nachfolgenden Marktfrüchten thematisiert. Im Rahmen des Verbundprojektes „Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen (EVA)“ wurden die Effekte der Faktorreduktion im Kontext verschiedener Fruchtfolgen experimentell untersucht. Im hierzu am Standort Ascha durchgeführten Feldversuch wurden drei Stufen der Faktorreduktion in drei verschiedenen Fruchtfolgen analysiert: 1 - ohne Reduktion, 2 – eine um 30 kg/ha je Fruchtart reduzierte Stickstoffdüngung; 3 – reduzierte Stickstoffdüngung und keine Beikrautkontrolle. Der Versuch wurde im Folgejahr des Startjahres als Ganzes wiederholt. Als Abschlussfrucht für alle vieljährigen Fruchtfolgen wurde einheitlich Winterweizen für die Kornnutzung ohne Faktorenreduktion angebaut, um sowohl die kumulativen Fruchtfolgeeffekte als auch die Effekte in nachfolgenden Marktfrüchten darstellen zu können. Hinsichtlich der Zielgrößen Stärke und Zusammensetzung der Beikrautflora wurden folgende Faktoren analysiert: Reduktion der Düngung und des Herbizideinsatzes, Fruchtarten- und Fruchtfolgeeffekte und Jahreseffekte. Die Ergebnisse zeigen, dass der Verzicht auf die chemische Beikrautregulation die stärksten Effekte auf den Beikrautbesatz verursacht. Insbesondere Mais und Hirsen reagieren empfindlich auf eine extensive Bestandesführung. Beide Pflanzen wiesen die höchsten Unterschiede zwischen den Faktorstufen auf. Demgegenüber verursachte die Reduktion der Stickstoffdüngung nur geringe oder keine Veränderungen in der Beikrautflora. Trotz gravierender Unterschiede in den Einzeljahren konnten keine kumulativen und Fruchtfolgeeffekte in der Abschlussfrucht Winterweizen festgestellt werden. Die Art der angebauten Fruchtart hatte den stärksten Einfluss auf die Zusammensetzung der Beikrautflora.

Stichwörter: Artenzusammensetzung, Beikräuter, Fruchtarten, Herbizid, Stickstoffdüngung

1. Introduction

Production of biogas substrates requires lower quality standards than the production of food or feed. Therefore, the optimum intensity of factor input in energy cropping is theoretically reached at lower amounts of applied fertilizer and herbicides. Particularly the weed flora could be tolerated to a higher extent since it contributes to the total of biomass yield. Weeds have a similar energy content as crops. When the generative reproduction of weeds can be avoided, e.g. there may be real opportunities for reductions in crop protection in cereal crops (KARPENSTEIN-MACHAN, 1997).

Since fertilization and plant protections have many negative side effects on soil, surface and groundwater as well as on flora and fauna, the reduction of factor input is a central demand of nature conservation and environmental protection. A decrease in nitrogen application can help to minimize nitrogen losses into groundwater and atmosphere. In addition, a lower intensity of weed control can increase the biodiversity of agricultural ecosystems. For these reasons, the European Union (EC, 2009) as well as Germany (BMVEL, 2005) have approved directives in the last years that will promote a substantial reduction in the use of crop protection products. Due to numerous interactions (ZORNBAACH, 2003) e.g. with crops and crop rotations, there are no "easy-to-handle" rules for factors reduction.

In this context, a field trial was set up within the research project "Site-adapted Cropping Systems for Energy Crops" (EVA) aiming to identify the optimal strategy for an economically successful and environmentally sound production of energy crops. Within three crop rotations nitrogen fertilization and herbicide application were varied according to three intensity levels. The present study focuses on the effects of reduced factor input on weed cover and species composition with respect to particular crop species and crop rotations.

2. Materials and Methods

2.1 Experimental setup

The field experiment was established in the foothills of the Bavarian Forest near Ascha, Germany. The experimental site is located at an altitude of 430 m above sea level with a mean annual precipitation of 807 mm and a mean annual temperature of 7.5 °C. The soil is a eutric cambisol with loamy sand and a pH of 6.4.

Three crop rotations (Tab. 1) were tested under three intensity levels as indicated in Table 2. Crop rotation A and B stand for sole biogas substrate production and integrated substrate and feed production for cattle, respectively. Crop rotation C represents a market-orientated production system with a high proportion of cash crops like grain maize and potatoes. The final component in all crop rotations was winter wheat used as a reference in order to monitor accumulated effects of the different cropping systems. Potatoes and winter wheat were treated in all intensity levels equally with optimal intensity to check for negative effects of factor reduction in preceding crops.

Tab. 1 Crop rotations for substrate production under reduced factor input; crops printed in bold were cultivated as cash crops.

Tab. 1 Fruchtfolgen für die Substratproduktion mit reduziertem Faktoreinsatz; fettgedruckte Fruchtarten wurden als Marktfrüchte angebaut.

Year	Number	Crop Rotation A	Crop Rotation B	Crop Rotation C
1 st	1	Maize (energy)	Maize (silage)	Maize (grain)
2 nd	2	Winter rye	Winter rye	Ryegrass
	3	Sorghum	Maize (silage)	Potatoes
3 rd	4	Winter triticale	Winter Rye/hairy vetch	Winter wheat
	5	Ryegrass	Sorghum	Peas
4 th	6	Winter wheat	Winter wheat	Winter wheat

Crop rotations were started in two consecutive years in 2005 and 2006 in order to account for seasonal effects. The field experiment was arranged in a split-plot block design with crop rotation as splitting factor and four replicates. Each experimental plot had an area of 49.5 m² with a sample area of 12 m².

Tab. 2 Intensity levels of factor input.

Tab. 2 *Intensitätsstufen des Faktoreinsatzes.*

RedCode	Intensity Level	Treatment
1	Intensity I (optimal)	Optimal N fertilisation; optimal pest management (PM)
2	Intensity II (-N)	N-application reduced by 30 kg/ha per crop; optimal PM
3	Intensity III (-N, no PM)	N-application reduced by 30 kg/ha per crop; no PM

2.2 Data collection and analysis

Overall weed cover and contribution of single weed species was determined in every crop for two or three times. Weed cover was estimated in percent of area covered by all weedy biomass; coverage of single species was estimated correspondingly for each present weed species. The normality of the data was tested with the Kolmogorov-Smirnov-test. To reach normality, the data were transformed and standardized.

We used the General Linear Model (GLM; SPSS 16.0) as tool for Univariate Variances Analysis in order to identify i) the main drivers for weed abundance differences and ii) to quantify the impact strength of the single factors as well the interaction between factors impacting on weed abundances. The intensity levels (RL), the crop rotation number and the crop type were defined as fix factors, the replication number of the whole trial (TR) which is an indirect measure of year effects as random factors to analyze the impacts on the weed abundance as target variable. The GLM provided the following additional outputs: i) parameter estimates (η), which express the partial variance caused by single factors or interactions, ii) contrast tests, providing significance levels of the factor levels according a predefined baseline and iii) post hoc tests (Tukey HSD) for the fix factors.

The impacts on weed species composition were tested with Canonical Correspondence Analysis (CCA) using the software package CANOCO. For validity reasons, only species with an overall frequency greater than 10 % have been included in this analysis. Variance Partitioning was performed by running the CCA with all combinations for input factors and covariates, starting from a full model (all factors as input factors) and changing the inputs stepwise to covariates in the model. Additionally, the relative promotion of single weeds by single factors was tested by using fidelity indexes as commonly used in ecologic vegetation analyses (CHYTRY et al., 2002).

3. Results

3.1 Identifying and quantifying the main impact factors

The overall analysis with the General Linear Model resulted in the variance parts explained by the different factors as shown in Table 3. The intensity level (RL) caused the highest impact on total weed coverage (34 % of variance). Together with the crop species (CS) and the interaction between RL and CS, both factors explained nearly two third of the overall variance. The impact of crop rotation and year effects for the trial replications remained very low (1.2 respectively 1.8 %) and can therefore be neglected.

Tab. 3 Statistical parameters of the factors influencing weed coverage together with the size of their partial variance explanation (eta-value) (output of the General Linear Model; GLM).

Tab. 3 Ergebnistabelle des statistischen allgemeinen Modells (GLM) zur Charakterisierung der Varianzquellen und der partiellen Beiträge (Eta) der Prüffaktoren.

Source	Type III Sum of Squares	df	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	1252.527	1	102.962	0.056	0.990
CropRotation (CR)	11.894	2	5.635	0.004	0.012
IntensityLevel (RL)	503.272	2	238.434	0.000	0.338
TrialReplication (TR)	16.918	1	16.030	0.000	0.017
CropSpecies (CS)	104.838	8	12.417	0.000	0.096
Interaction CR * RL	18.090	4	4.285	0.002	0.018
Interaction RL * CS	248.001	16	14.687	0.000	0.201
Error	984.659	933			

(df – degrees of freedom; F- F-value; Sig. – Significance level)

Figures 1-3 show the average weed coverage of every single crop rotation element and the weed dynamic over the years for the three intensity levels. Three details should be highlighted: 1.) Differences between intensity levels were mainly caused by higher weed infestation in factor level 3 (-N, no PM). Only these differences were significant. There were no or no significant differences between level 2 (-N) and the control level 1. 2.) There was no accumulative effect of the reduced factor input visible or provable in the last year of the crop rotation (winter wheat with weed control in all intensity levels). 3.) There were hardly any differences in weed infestation between the three tested crop rotations in the last crop of the rotation (winter wheat).

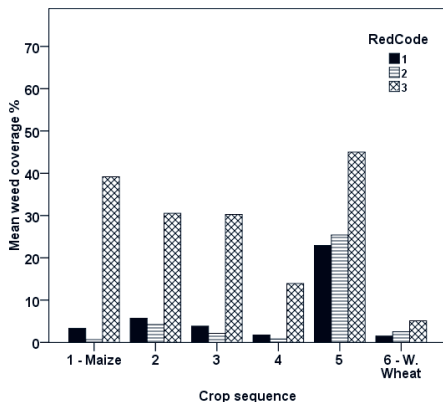


Fig. 1 Average weed coverage in all crop species included in crop rotation A as affected by factor reduction levels (=RedCode) (Average over the trial replication and three investigation dates per year).

Abb. 1 Mittlere Beikrautbedeckung in den einzelnen Fruchtfolgegliedern der Fruchtfolge A als Effekt der untersuchten Faktorstufen (=RedCode) (Mittelwerte über zwei parallele Versuchsanlagen, drei Boniturtermine).

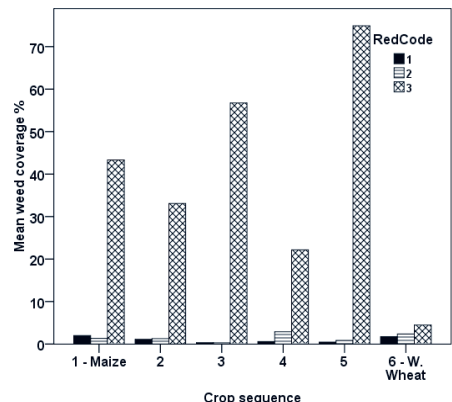


Fig. 2 Average weed coverage in all crops species included in crop rotation B as affected by factor reduction levels (=RedCode) (Average over the trial replication and three investigation dates per year).

Abb. 2 Mittlere Beikrautbedeckung in den einzelnen Fruchtfolgegliedern der Fruchtfolge B als Effekt der untersuchten Faktorstufen (=RedCode) (Mittelwerte über zwei parallele Versuchsanlagen, drei Boniturtermine).

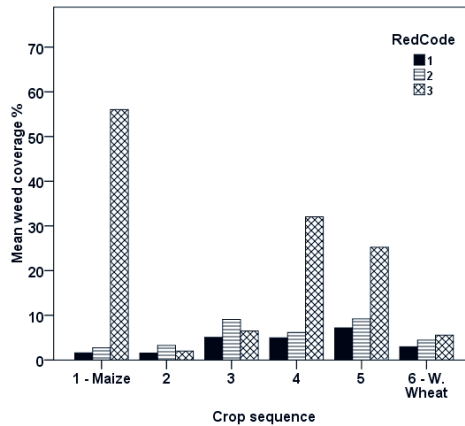


Fig. 3 Average weed coverage in all crops included in crop rotation C as affected by factor reduction levels (=RedCode) (Average over the trial replication and three investigation dates per year).

Abb. 3 Mittlere Beikrautbedeckung in den einzelnen Fruchtfolgliedern der Fruchtfolge C als Effekt der untersuchten Faktorstufen (=RedCode) (Mittelwerte über zwei parallele Versuchsanlagen, drei Boniturtermine).

3.2 Interaction between factor reduction and crop species

The observed interaction between factor reduction and crop species can be attributed to two reasons. Firstly, not all crop species have been treated with different intensity levels. Secondly, the differences between intensity level 3 (-N, no PM) and the other two levels were nearly double in size in crops with weak competitive ability like maize and sorghum (Fig. 4).

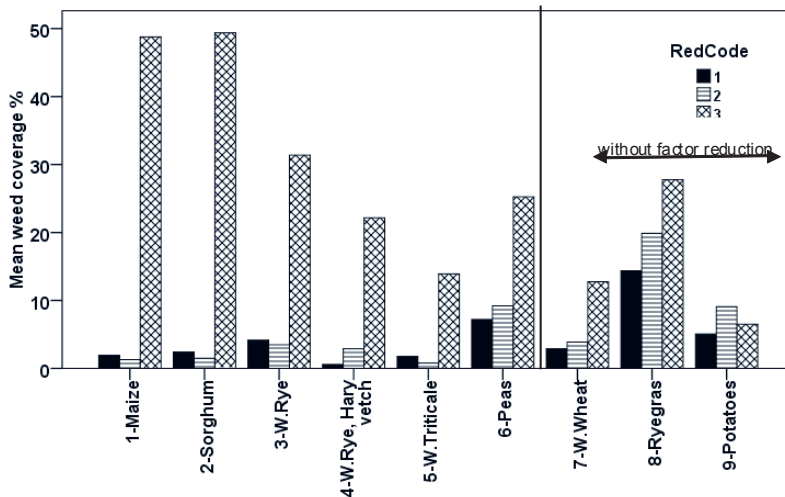


Fig. 4 Average weed coverage as function of crop species and factor reduction levels (=RedCode) (Average over crop rotations, the trial replication and three investigation dates per year).

Abb. 4 Mittlere Beikrautbedeckung als Wechselwirkung zwischen Fruchtart und Faktorreduktionsstufen (=RedCode) (Mittelwerte über alle Fruchtfolgen, zwei parallele Versuchsanlagen, drei Boniturtermine).

Under intensity level (RL) 1 (control) or 2 (-N), maize, sorghum, winter triticale and winter rye with hairy vetch had the lowest weed abundances, which were significantly lower compared to weed infestation in peas and ryegrass. Under intensity level 3 (-N, no PM), maize and sorghum showed the highest weed coverage. The differences in weed coverage between maize and each of the other crops (except of sorghum) were significant at intensity level 3. In sorghum, the weed coverage was not significantly different to the weed coverage in winter rye, winter triticale, winter rye with hairy vetch and peas at RedCode 3.

3.3 Effects on species composition

The investigated four factors: Intensity level (RL), crop rotation (CR), crop species (CS) and trial replication (TR = year effects) explained in average for both trial replications 79.1 % of overall variance in species abundances. The crop species was the single factor with the highest lonely impact on species composition (38.5 % of variance). The intensity level (RL) and the crop rotations had only very small impacts as single factors (1.3 % respectively 0.3 % of variance). The interaction between Intensity level (RL), crop species (CS) and crop rotation (CR) was related to 76.1 % of the variance. The differences caused by year (trial replication) can be ignored (3.4 %).

The used fidelity indices measure "the degree to which a species is concentrated in a given vegetation unit" (here: factor combination) (BRUELHEIDE, 2000). Table 4 presents the weed species which can be regarded as highly related and promoted by the tested factors. As higher the Phi-value, the stronger is the relation of a single species to a certain factor. Here, we were mostly interested to highlight the promotional effects of the factor reduction, mainly for intensity level 3 (-N, no PM) and the effects of the maize and sorghum growing.

Tab. 4 Result table for the fidelity indices expressing the close relationship between high species abundances and the tested impact factors (species with Phi-Values > 0.2, TR – TrialReplication).

Tab. 4 Ergebnistabelle für die Berechnung des Treue-Index als Ausdruck der Förderung hoher Artabundanzen durch ausgewählte Einflussfaktoren (Arten mit Phi-Werten > 0.2, TR – Anlagenummer des Versuches).

Tested factor	TR 1	TR 2
Intensity level (RL) 3	CHEAL	POLPE
	GASCI	STEME
	MATCH	MATCH
	POLPE	GASCI
	STEME	CHEAL
Maize crop	CHEAL	POLPE
	POLPE	CHEAL
Sorghum crop	GASCI	CHEAL

Abbreviations are EPPO – Codes for weed species, exemplarily: POLPE - *Polygonum persicaria*, STEME – *Stellaria media*; MATCH – *Matricaria chamomilla*, GASCI – *Galinsoga ciliata*; - CHEAL – *Chenopodium album*, for more see: <http://de.wikipedia.org/wiki/EPPO-Code>

4. Discussion

The most evident effect of reduced factor input was observed in maize and sorghum at intensity level 3 (-N, no PM). In these crops, weed infestation tended to increase over the time period of three years in the variant without herbicide application. This was mainly visible in crop rotation B, where maize or sorghum were grown yearly with varying winter catch crops. The occurring summer annual weed species *Chenopodium album*, *Polygonum persicaria* and *Galinsoga ciliata* perform their development cycle very fast and reach ripeness of seeds before harvest of maize or sorghum. Thus, the growing seed bank of these weed species will lead to an increasing need for weed control in subsequently grown summer crops. Since maize and sorghum respond very sensitively to weed flora with yield losses of 30 %, weeds cannot be tolerated in these crops and need to be controlled either chemically or mechanically (DEIGLMAYR et al., 2009). Due to their slow development in early phenological stages,

maize and sorghum crops are in particular highly sensitive to weed competition and weed spread (KNEZEVIC et al., 2002). Nevertheless, the reduction of chemical weed control is possible also in these crops, but it requires a compensation with alternative weed control measures like undersowing, mulching or mechanical weed control (BRUST et al., 2011).

Winter crops in general showed lower weed cover and no rise in weed infestation. Winter annual weed species are either less competitive as for example *Stellaria media* or exhibit a simultaneous development with the cultivated crops. Hence, weed species as *Matricaria chamomilla* are harvested before ripeness of their seeds and consequently seeds do not accumulate in the soil. Our results support the assumption of KARPENSTEIN-MACHAN (1997) according to low effects of weed control reductions in cereal crops harvested as green biomass. We found no or only slight effects in winter cereal catch crops. This suggests that the tolerance level for weeds in winter catch crops for biogas production can be set rather high.

Despite huge increments in the weed cover in plots without weed control in single years, we could not observe cumulative effects in the subsequent conventional cereal crop. Winter cereals combine a relative high competitive ability with a distinguished growing period. Therefore, the increase in summer annual weeds was not manifested in winter wheat. This "cleaning effect" of winter cereals indicates the high importance of crop changes within energy crop rotations and suggests that factor reductions options are interacted with the diversity of crop rotations. Crop rotations can be used to cure single year problems.

Our results indicate that the options for factor reductions in energy cropping are interacted by the crops grown for biomass. Particularly in maize and sorghum, weeds must be carefully controlled. Other experiments have shown that there are also options for reducing herbicide doses by 29-40 % in maize but only as part of an integrated management (DOGAN et al., 2005) or new innovative cropping systems (MÜLLER-SÄMANN et al., 2006). A survey on current practice in weed management in Lower Saxony in Germany (KARPENSTEIN-MACHAN and WEBER, 2010) has shown a trend to higher post-emergent herbicide applications in energy maize compared to whole crop cereals. Concerning winter crops, further research is needed to evaluate the long-term effect of reduced weed control. The options of reduction in dose or rates of application for the special cropping requirements of energy crops (e.g. late sowing of maize and sorghum) should be evaluated by future research projects.

Acknowledgements

We thank the technicians Markus Krinner, Christian Loher, Heidelinde Lummer and Stefan Wiesent for their excellent work and high motivation in establishing and maintaining the field trials. This project is part of the research project "Development and Comparison of Optimised Cropping Systems for Agricultural Production of Energy Crops under Different Site Conditions in Germany" (EVA). The financial support by the Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) through the Agency of Renewable Resources (FNR e.V.) is greatly acknowledged.

References

- BRUST, J., R. GERHARDS, T. KARANISA, L. RUFF AND A. KIPP, 2011: WARUM UNTERSAAATEN UND ZWISCHENFRÜCHTE WIEDER BEDEUTUNG ZUR UNKRAUTREGULIERUNG IN EUROPÄISCHEN ACKERBAUSYSTEMEN BEKOMMEN. GESUNDE PFLANZEN **36**, 191-198.
- BMVEL, 2005: REDUKTIONSPROGRAMM CHEMISCHER PFLANZENSCHUTZ. EIGENVERLAG. BERLIN.
- BRUELHEIDE, H., 2000: A NEW MEASURE OF FIDELITY AND ITS APPLICATION TO DEFINING SPECIES GROUPS. JOURNAL OF VEGETATION SCIENCE **11**, 167-178.
- CHYTRY, M., L. TICHY, J. HOLT AND Z. BOTTA-DUKAT, 2002: DETERMINATION OF DIAGNOSTIC SPECIES WITH STATISTICAL FIDELITY MEASURES. JOURNAL OF VEGETATION SCIENCE **13**, 79-90.
- DEIGLMAYR, K., F. HEIMLER AND M. FRITZ, 2009: EXTENSIFICATION OF CROPPING SYSTEMS IN THE PRODUCTION OF BIOGAS SUBSTRATES. IN: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (EDS.): INTERNATIONALE WISSENSCHAFTSTAGUNG "BIOGAS SCIENCE 2009", 27-38. BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL), FREISING-WEIHENSTEPHAN.

- DOGAN, M.N., Ö. BOZ AND A. ÜNAY, 2005: EFFICACIES OF REDUCED HERBICIDE RATES FOR WEED CONTROL IN MAIZE (*ZEA MAYS* L.) DURING CRITICAL PERIOD. *JOURNAL OF AGRONOMY* **4**, 44-48.
- EC, 2009: DIRECTIVE 2009/128/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 21 OCTOBER 2009: ESTABLISHING A FRAMEWORK FOR COMMUNITY ACTION TO ACHIEVE THE SUSTAINABLE USE OF PESTICIDES. *OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION* L 309/71.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M., 1997: PERSPEKTIVEN EINES PESTIZIDFREIEN ANBAUS VON ENERGIEPFLANZEN ZUR THERMISCHEN VERWERTUNG IM SYSTEM DER ZWEIKULTURNUTZUNG. KONZEPTE FÜR DEN ENERGIEPFLANZENANBAU. DLG-VERLAG FRANKFURT.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. AND C. WEBER, 2010: ENERGIEPFLANZENANBAU FÜR BIOGASANLAGEN. VERÄNDERUNGEN IN DER FRUCHTFOLGE UND DER BEWIRTSCHAFTUNG VON ACKERFLÄCHEN IN NIEDERSACHSEN. *NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPLANUNG* **42**, 312-320.
- KNEZEVIC, S.Z., S.P. EVANS, E.E. BLANKENSHIP, R.C. VAN ACKER AND J.L. LINDQUIST, 2002: CRITICAL PERIOD FOR WEED CONTROL: THE CONCEPT AND DATA ANALYSIS. *WEED SCIENCE* **50**, 773-786.
- MÜLLER-SÄMANN, K., T. HÖLSCHER, C. BOCKSTALLER, J. MAIER AND R. VETTER, 2006: MAIS NACHHALTIG BESTELLEN: KONZEPTION UND VERTIEFTE AUSWERTUNG VON ANBAUSYSTEMEN. *MITTEILUNGEN DER GESELLSCHAFT FÜR PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN* **18**, 116-117.
- ZORNBACH, W., 2003: RISIKOMINDERUNG IM PFLANZENSCHUTZ. IN: THÜRINGER MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, NATURSCHUTZ UND UMWELT (EDS.), 2003: PFLANZENSCHUTZ UND UMWELTSCHUTZ. KOLLOQUIUM UNTER SCHIRMHERRSCHAFT DES THÜRINGER MINISTERS FÜR LANDWIRTSCHAFT, NATURSCHUTZ UND UMWELT. JENA, DEN 15. MAI 2003. EIGENVERLAG. 12-14.

Blau & rot & weiß blühende Unkrautarten: Symbolik für Natürlichkeit und Kraft der Natur in Kunst und Kultur, Alltag und Werbung

Weeds with blue flowers, red and white: Symbols for naturalness of products as well as subjects for art objects

Thomas Eggers

Am Beek 7, D-38108 Braunschweig

vorm. Institut für Unkrautforschung, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

UTh.Eggers@gmail.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.095

Zusammenfassung

In Blau, der Farbe der Ruhe und Zufriedenheit, zusammen mit dem kraftvollen Rot der Lebensfreude und Weiß als Farbe der Unschuld und Sauberkeit muss ein reizvoller Beweggrund, eine hohe Attraktivität liegen, so dass diese Farbkombination in vielen Lebensbereichen gewählt wird, Harmonie und Verlässlichkeit ausstrahlend. Der starke Dualismus Rot gegen Weiß wird durch das Blau gemildert.

Mit der Farbkombination der blauen Blüten von *Centaurea cyanus*, der roten Blüten von *Papaver rhoeas* oder *P. dubium* und der weißen Blüten von *Matricaria recutita* bzw. *Tripleurospermum inodorum* wird dieses 3-Klang-Thema vielfältig aufgegriffen, in Büchern, nicht nur naturkundlichen, auf Gemälden, im Kunstgewerbe, auch auf Gebrauchsgegenständen und in der Werbung auf Verpackungen von Lebensmitteln, hier vermutlich oft unterschwellig zum Kauf anreizend wirksam.

Stichwörter: Blütenfarben, *Centaurea cyanus*, *Matricaria recutita*, *Papaver rhoeas*

Summary

The symbolism of the colours blue, red and white is discussed. Blue, the colour of quiet and contentment, together with the powerful red, indicating a zest for life, and white, the colour of innocence and purity, give a charming and attractive theme and these colour combinations appear commonly. The strong contrast of red against white is moderated by blue.

There are three remarkable weeds with blue flowers (*Centaurea cyanus*), red (*Papaver rhoeas*) and white (*Matricaria recutita*). Some examples from many years' collection of different objects with these species alone or, more impressively, all 3 species together are shown (books - not only of natural history, pictures of still lives, yoghurt beakers, milk tubs, packagings of bread or rolls or margarine, porcelain cups and saucers, bunches of artificial flowers, artificial poppy flowers for the annual Remembrance Day in countries of the British Commonwealth).

Keywords: *Centaurea cyanus*, Flower colours, *Matricaria recutita*, *Papaver rhoeas*

1. Einleitung

Farben wirken auf unsere Psyche, auf unsere Stimmung und Laune. Sie bestimmen unser Leben - immer und überall (AIGNER, 2008a). Bei den Ackerwildpflanzen sind es vor allem 3 Blütenfarben, die immer wieder besonders ins Auge fallen: Blau, Rot und Weiß, repräsentiert durch die Arten *Centaurea cyanus*, *Papaver spec.* und *Matricaria recutita* bzw. *Tripleurospermum inodorum*.

Die Symbolik dieser Farben soll zunächst behandelt werden. Auf die Bedeutung als einzelne Art sei näher eingegangen, dann auf die gemeinsame Darstellung dieser Pflanzenarten. Dazu liegt eine Sammlung von vielfältigen Objekten mit Abbildungen der genannten Arten vor.

Obwohl Pflanzen auf vielfältigen Produkten als Blickfang zu finden sind, darunter vorrangig diese drei Ackerunkrautarten, wurde zu Pflanzen in der Werbung bislang keine Ausstellung durchgeführt.

2. Material und Methoden

2.1 Symbolik der Farben Blau, Rot und Weiß

Blau steht für Treue, Freundschaft, Ruhe, Phantasie und Zufriedenheit, wirkt beruhigend und entspannend (AIGNER, 2008a). Diese Farbe wirkt sympathisch, ist harmonisch, steht für freundlich und zuverlässig.

Rot ist wohl die kraftvollste aller Farben. Sie ist die Farbe der Liebe, steht auch für Lebensfreude, Leidenschaft und Glück, Zorn und Hass, also viele intensive Gefühlsregungen. Rot ist gleichzeitig die Farbe der Macht - Könige und Päpste hüllten sich in Rot; es signalisiert auch Mut und Erhabenheit (AIGNER, 2008a+b).

Weiß ist die Farbe der Vollkommenheit, ihre Verbindung zum Göttlichen führt zu einer reichhaltigen Symbolik (ELENDR, 2011): Weiß als Farbe des Anfangs ist in mehreren Religionen Farbe der Auferstehung. Weiß ist die Farbe der Wahrheit; das Gute gegen das Böse wird in ‚Schwarz-Weiß‘ dargestellt. Alles was mit Sauberkeit und Hygiene zu tun hat, ist weiß gewandet oder gestrichen.

In Blau, der Farbe der Ruhe und Zufriedenheit, zusammen mit dem kraftvollen Rot der Lebensfreude und Weiß als Farbe der Unschuld und Sauberkeit muss eine hohe Attraktivität, ein reizvoller Beweggrund liegen. Der starke Dualismus Rot gegen Weiß wird durch das Blau gemildert. Diese Farbkombination wird in vielen Lebensbereichen gewählt, Harmonie und Verlässlichkeit ausstrahlend, so auf manchem Marienbild. Die National-Flaggen etlicher Staaten sind aus den 3 Farben Blau, Rot und Weiß gebildet, wie z. B. die von Chile, Costa Rica, der Dominikanischen Republik, Frankreich, Großbritannien, Island, Kap Verde, Kroatien, Kuba, den Niederlanden, Norwegen, Russland, Serbien, den USA; in Deutschland auch die Flagge des Bundeslands Schleswig-Holstein.

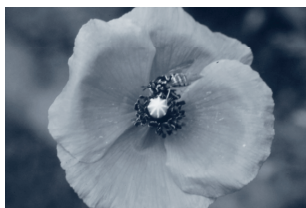
2.2 Die blau, rot oder weiß blühenden Unkrautarten



Centaurea cyanus, Bombyx

Die blaue Unkrautblume: *Centaurea cyanus*, die Kornblume

Unter den Ackerwildpflanzen ist *Centaurea cyanus* eine der bekanntesten Getreidebegleitpflanzen (HANF, 1990), denn ihre ansehnlichen, strahlend himmelblauen Korbblütenköpfe wachsen hoch, oft über die Getreideähren hinaus. *Centaurea cyanus* ist eine unserer schönsten Feldblumen; mit ihren großen, leuchtend blauen Blütenkörben fällt sie stärker auf als etwa die auch oft hochwüchsige, aber zierlichere *Consolida regalis* (THAER, 1923). HOFMEISTER und GARVE (1998) nennen sie „eine auffallende Kennart der Windhalm-Gesellschaften“ (*Aperion spica-venti*).

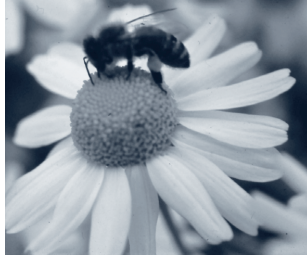


Papaver dubium, Syrphide

Die rote Unkrautblume: *Papaver rhoeas*, der Klatsch-Mohn

Wem springt die feuerrote Farbe der Blüten des Klatsch-Mohns oder des verwandten Saat-Mohns (*Papaver dubium*) oder des Sand-Mohns (*P. argemone*) nicht ins Auge? *Papaver rhoeas* ist Ordnungsg-

Charakterart der Klatschmohn-Gesellschaften (*Papaveretalia rhoeadalis*), *P. argemone* der Sandmohn-Gesellschaft (*Papaveretum argemones*) (HOFMEISTER und GARVE, 1998).



Tripleurospermum inodorum, Apis

Die weiße Unkrautblume: *Matricaria recutita* oder *Tripleurospermum inodorum*, die Echte bzw. die Geruchlose Kamille

Eine weiße Unkrautblume schlechthin gibt es im Gegensatz zu den beiden bisher betrachteten Arten nicht. Zwar haben etliche Unkrautarten weiße Blüten, z. B. *Solanum nigrum*, *Stellaria media* oder *Cardaria draba*, doch sind deren weiße Blüten eher unscheinbar. Es sind daher die großblumigen *Matricaria recutita* und *Tripleurospermum inodorum*, die immer als weißblühende Arten gezeigt werden, wobei die letzte manchmal so abgebildet wird, als ob es die landläufig wohl bekanntere *Leucanthemum vulgare* mit den ebenfalls großen weißen Strahlenblüten sei. *Matricaria recutita* ist namensgebende Assoziations-Kennart der Kamillen-Gesellschaft (*Aphano-Matricarietum*) und prägt sie physiognomisch und floristisch (HOFMEISTER und GARVE, 1998).

2.3 Sammlung von Literaturzitat, Gemälden, kunstgewerblichen Objekten oder Gebrauchsgegenständen mit Abbildungen der blau, rot oder weiß blühenden Unkrautarten

Eine Sammlung von in fast vier Jahrzehnten gesammelten Beispielen mit Darstellung der drei blau, rot oder weiß blühenden Unkrautarten liegt vor. Das verbindende Element ist das immer wiederkehrende spezifische Auftreten der Pflanzenarten, botanisch genau, nicht zuletzt dann aber in ihrer gemeinsamen Anordnung. Eine systematische Sammlung ist aus der Natur der Sache heraus nicht möglich; alle Objekte wurden zufällig gefunden.

Anhand von Farben- und Pflanzensymbolik werden die gesammelten Beispiele betrachtet.

3. Ergebnisse

3.1 Funde zu *Centaurea cyanus*

Als das Grab Tutanchamuns (um 1325 v. Chr.) gefunden wurde, umkränzten *Centaurea-cyanus*-Blüten die Uräusschlange des Diadems der goldenen Totenmaske des jugendlichen Pharaos als Zeichen der Zuversicht auf ein Weiterleben nach dem Tode (ZERLING, 2007).

NOVALIS' Symbol der blauen Blume der Sehnsucht, das 1802 in seinem Romanfragment "Heinrich von Ofterdingen" erschien, wurde für die Romantik Inbegriff der Dichtung (ELENDER, 2011).

Eines der bekanntesten Lieder der Wandervogelbewegung wurde 1911 von Hjalmar KUTZLEB (1885-1959) gedichtet: „Wir wollen zu Land ausfahren“, in dem in der 4. Strophe auch eine blaue Blume besungen wird: „Es blühet im Walde tief drinnen / die blaue Blume fein; ...“, doch der Standort lässt nicht zu, dass es sich dabei – wie manchmal vermutet – um *Centaurea cyanus* handelt. Der auf kölsche Karnevalsschlager spezialisierte Liedtexter Jupp SCHLÖSSER (1902-1983) schrieb 1939 das Lied „Es gibt kein Plätzchen auf Erden“ mit dem bekannten Refrain: „Kornblumenblau ist der Himmel am herrlichen Rheine, kornblumenblau sind die Augen der Frauen beim Weine...“

In den 1930er Jahren gab es Brottrommeln aus Blech mit aufgemaltem Kornblumenkranz (Friedrich Ludwig MÜLLER, Deutsche Stiftung Denkmalschutz, schriftl. Mitt.). Um 2000 konnte man Tablett, Sets und Topflappen mit demselben Motiv *Centaurea cyanus*, verbunden mit der ebenfalls blau blühenden *Campanula rotundifolia*, der finnischen Firma Marimekko kaufen. Die finnische Post gab am 16. Mai

2001 eine Briefmarken-Serie mit *Centaurea cyanus* (neben *Pulsatilla vulgaris*) heraus.

In einer von der oberpfälzischen Fa. Eschenbach-Porzellan produzierten Tassen-Serie mit den schwedischen Landschaftsblumen ist *Centaurea cyanus* für das Län Östergötland vertreten. Eine solche Tasse konnte 2009 in einem Antiquitätenladen in Nynäshamn erworben werden. Von der Staatlichen Porzellan-Manufaktur Meißen gibt es eine entsprechende Mokkatasse und in der Serie „Bunte Blume“ auch ein Gedeck mit dem Motiv der *Centaurea cyanus*.

Für größtmögliche Zufriedenheit der Kunden mag *Centaurea cyanus* auf Trink- und Joghurtbechern, Milch- oder Zuckerpackungen abgebildet werden. Vom Standort her, der Viehweide, wo die Produkte Milch bzw. Joghurt ihren Ursprung haben, sind diese Abbildungen auf den Gebinden schon ungewöhnlich; das gilt auch für Norwegen, wo so eine Milchpackung 1986 zu finden war. Auf Zuckerrübenfeldern kann *Centaurea cyanus* schon vorkommen, auch wenn sie als winterannuelle Art allgemein eher in Wintergetreide auftritt (Kennart der Windhalm-Gesellschaften!).

Eine Glasvase von Émile GALLÉ (1846–1904), dem großen Künstler des französischen Art nouveau, zieren kräftige *Centaurea-cyanus*-Blüten.

Zum Gedenken an französische Deportierte und Kriegsgefangene im Außenlager Svatava/Zwodau des Konzentrationslagers Flossenbürg ist im Städtischen Museum in Sokolov/Falkenau (Tschechien) ein *Centaurea-cyanus*-Gebinde der ‚Association de Flossenbürg‘, Paris, angebracht. Ähnlich vom ätherischen Blau der *Centaurea cyanus* betont ist der Kranz am Grabmal des Unbekannten Soldaten unterm Arc de Triomphe in Paris.

Wenn auch die Symbolik der Farbe Blau grundsätzlich positiv besetzt ist, so gibt es doch zweifelhafte, auch abgründige Beispiele: *Centaurea cyanus* soll nach MARTIN (1901) die Lieblingsblume Kaiser Wilhelms I. gewesen sein. Seit in Böhmen der Sprachenkampf zwischen Tschechen und Deutschen entbrannte, sei sie deshalb zur Parteiblume der Deutschen geworden. Weiter in der Geschichte Deutschlands ist im Zusammenhang mit *Centaurea cyanus* auch nicht zu vergessen, dass mit dem tückisch verschleiernenden, eher harmlos klingenden Code „Aktion Kornblume“ die rigorosen, leidvollen Zwangsaussiedlungen aus Thüringen (damals Bezirk Erfurt) bezeichnet wurden, die wenige Wochen nach dem Mauerbau in Berlin 1961 im Rahmen der „Aktion Festigung“ in DDR-Bezirken nahe der Grenze zur Bundesrepublik durchgeführt wurden (SCHULZE, 2008).

3.2 Funde zu *Papaver rhoeas*

Papaver rhoeas liefert mit seinen zarten, großen roten Blüten ein Bild des Elements Feuer als erweckende oder zerstörerische Kraft. *Papaver rhoeas* war, wie alle rotblühenden Blumen, einst Thor geweiht (ZERLING, 2007). Renaissance-Maler verbanden die sogenannte Feuerblume mit dem Jüngsten Gericht. Mohnpflanzen als Kunstelement finden sich in Ornamenten der Renaissance, so in der Blumengirlande auf dem Rahmen der Südtür des Baptisteriums San Giovanni in Florenz von Andrea PISANO (nach 1452).

Mohn war ein häufiges Motiv des Jugendstils wenn es sich auch meistens um *Papaver somniferum* handelte: Sich windender Schlaf-Mohn wurde geradezu zum Symbol des Jugendstils (ZERLING, 2007). Das gilt dort auch für die vom Braunschweiger Herzoglichen Hof-Dekorationsmaler Adolf QUENSEN stilisiert gestalteten Mohnblüten und -früchte in der Apsis der 1903-1905 renovierten Jugendstil-Kreuzkirche in Braunschweig-Lehndorf, direkt gegenüber Kornähren und weißen Lilien angeordnet. Sie sind deutlich als solche des Schlaf-Mohns (*Papaver somniferum*) zu erkennen, also nicht des Klatsch-Mohns [*Papaver rhoeas*], wie MERCKER (2000) schrieb. Mit christlicher Deutung gibt die Verbindung von rotem Mohn und reifer Kornähre ein Gleichnis von Blut und Brot, von Eucharistie und Messopfer (ZERLING, 2007).

Doch wurde auch *Papaver rhoeas* zu einem Jugendstil-Motiv, wie auf einer Anrichte von GALLÉ zu erkennen ist. Wer sich einmal in das Verzeichnis des ‚Vincent VAN GOGH GALLERY Art Store‘ einloggt, wird von der Fülle des Angebots von *Papaver*-Bildern aus aller Welt förmlich erschlagen. Es mögen fast 600 sein, darunter einige Gemälde von Vincent VAN GOGH (1853-1890), Claude MONET (1840-1926) und Gustav KLIMT (1862-1918), daneben oft kunstgewerbliche Studien, meistens mit *Papaver rhoeas*

oder *P. dubium*, aber auch nicht genauer ansprechbaren Mohn-Arten und -Sorten mit weißen oder blauen Blüten. Von VAN GOGH seien auch die Bildnisse einer jungen Frau vor Mohn-durchsetztem Kornfeld oder das Bild der aus einem Weizenfeld mit Mohn-Tupfern aufsteigenden Feld-Lerche genannt, auch mehr als ein Dutzend Landschaftsbilder mit mohnreichen Kornfeldern. Zum Ende des 19. Jahrhunderts waren solche Getreidefelder sicher öfter als heutzutage Sommer für Sommer zu sehen, doch ist die große Zahl solcher Bilder wohl ein Zeichen dafür, welchen Eindruck sie immer wieder auf VAN GOGH und MONET gemacht haben müssen.

CHÂTELET (1999) schreibt, Klatschmohn sei die Blume des Begehrens. Und die frisch verliebte Heldin ihres - natürlich auf dem Einband mit 3 Mohnblüten geschmückten - Romans *Die Klatschmohnfrau* kauft sich „ein rot gemustertes Kleid, klatschmohnrot“. Ihre emotional kühlere Tochter „dagegen hätte eine ‚ländlichere‘ Version mit [...] Kornblumen wegen der beruhigenden Wirkung bevorzugt“, wie es da nach dem oben für *Centaurea cyanus* Ausgeführten auf der Hand liegt.

Ein Hauch von Erotik mag auch bei der Abbildung von *Papaver rhoeas* (in allen Blühphasen von der Knospe bis zur vollen Blüte!) auf den Packungen und Flakons des französischen Parfums ‚Flower by KENZO‘ mitschwingen.

In der englischsprachigen Welt wurde *In Flanders Fields* zum bekanntesten Gedicht, das die Sinnlosigkeit des Krieges eindringlich veranschaulicht (ANONYMUS, 2011): „In Flanders fields the poppies grow / between the crosses, row on row...“ Es wurde am 3. Mai 1915 von dem Arzt John MCCRAE, Sanitätsoffizier der kanadischen Streitkräfte, geschrieben, als er den Tod seines Freundes in der Zweiten Flandernschlacht bei Ypern beklagen musste. Der als einjährige Unkrautart auf den verwüsteten Feldern unvermittelt in großer Dichte auftretende, rot blühende *Papaver rhoeas* erinnert symbolisch an das vergossene Blut der Gefallenen, nährt dabei dennoch die Hoffnung, dass das Leben weitergeht, wie MCCRAE (1915) schrieb. Vom 11. November 1921 an, dem 3. Jahrestag des Endes des Ersten Weltkriegs, wurde die Mohnblume zum Symbol und Mahnmal an die Gefallenen. Alljährlich werden in den Staaten des Commonwealth of Nations zum Remembrance Day, dem Jahrestag des Waffenstillstands, solche Mohnblumen gegen Spenden für die Pflege von Kriegsgräberstätten verkauft, in England von der Royal British Legion, und von Millionen Bürgern Jahr für Jahr im November getragen (ZERLING, 2007).

3.3 Funde zu *Matricaria recutita*

Die Grundbedeutungen für *Matricaria recutita* in der Pflanzensymbolik sind Schutz, Heilung, Tugend und Beruhigung jeder Art Hitze und Erregung; Pflanzencharakteristiken sind Schlichtheit, Geduld und Wohlwollen (ZERLING, 2007). Kamille-Arten werden kaum für sich allein gezeigt, es sei denn auf typischen Hygieneprodukten wie Kamille-Hautcremes.



R. SVENDSON

3.4 Funde zu den blau, rot oder weiß blühenden Unkrautarten *Centaurea cyanus*, *Papaver rhoeas* und *Matricaria recutita* bzw. *Tripleurospermum inodorum* zusammen

Mit der Kombination der blauen Blüten von *Centaurea cyanus*, der roten Blüten von *Papaver rhoeas* oder *P. dubium* und der weißen Blüten von *Matricaria recutita* bzw. *Tripleurospermum inodorum* wird das 3-Farben-Thema vielfältig aufgegriffen, in Büchern, nicht nur in naturkundlichen, auf Gemälden, im Kunstgewerbe, auch auf Gebrauchsgegenständen und in der Werbung auf Verpackungen von Lebensmitteln, hier vermutlich oft unterschwellig zum Kauf anreizend.

Der Dreiklang dieser Farben ruft offensichtlich freundliche Emotionen wach, muss suggerierend, manchmal vielleicht auch manipulierend, hoffen lassen, in unserer für die meisten Menschen naturfernen verstärkerten Welt immer noch einmal ein Stückchen Natur zu erhaschen. „Der gewöhnliche Klatschmohn bildete früher mit den Kornblumen und der Kornrade zusammen den Hauptbestandteil der von Schwärmern vielbesungenen blumigen Getreidefelder“ (THAER, 1923). „Der Bauer kann naturgemäß für diese Getreideunkräuter keine Liebe aufbringen, trotz ihrer Farbschönheit. Dem Naturfreund ist aber ein Getreidefeld ohne die roten und blauen Blumen eine reizlose Kultursteppe. Klatschrose [*Papaver rhoeas*] und Kornblume [*Centaurea cyanus*] gehören zum Bilde unserer Heimat“ (SCHMITT, o. J.).

Auf dem Schutzumschlag eines Lehrerhandbuchs für den Biologieunterricht von BROHMER (1938) gesellen sich zu diesen beiden Arten typischerweise sogleich Pflanzen von *Matricaria recutita*. Und lediglich diese 3 Unkrautarten werden am Rand eines Roggenfelds gezeigt, „... so leuchten [...] die Blüten der Unkräuter aus dem Meer der Roggenhalme. Das brennende Rot des Klatschmohns [*Papaver rhoeas*], das tiefe Blau der Kornblume [*Centaurea cyanus*] [...] haben kaum ihresgleichen in unserer heimischen Pflanzenwelt“ (BROHMER, 1938).

Mit herrlichen naturkundlichen Beobachtungen über den Lauf des Jahres und mit kunstvoll und doch ganz genau nach der Natur gezeichneten Pflanzen und Tieren hat HOLDEN (1977) in ihren „*Nature Notes*“ von 1906 zum 4. August unser Motiv aufgegriffen, indem sie ihrem Feldstrauß von *Papaver rhoeas* und *Matricaria recutita* ein paar blaue *Campanula rotundifolia* vom Feldrand hinzufügte, stellvertretend für *Centaurea cyanus*, die auf den Feldern in der Nähe ihres Heimatortes nach der dem Tagebuch beigefügten Pflanzenfundliste nicht vorkam. - In Kinderbüchern finden sich gern die 3 Feldblumen dargestellt, so im bunten Ackerrand am Weg der Hasenkinder zur Häschenschule (KOCH-GOTHA und SIXTUS, [1924]), auch neben der im Weizenfeld herumtorenden Feld-Maus (ZINK-PINGEL, 1987). - Den ganzen Einband eines Buches mit STIFTERS (1925) *Feldblumen* ziert eine vielversprechende Graphik mit stilisierten Getreideähren und blauen Blüten von *Centaurea cyanus* sowie *Anagallis foemina* und roten *Papaver*-Blüten, im Text jedoch gibt es keine Beziehungen zu diesen Feldblumen!

In den Versen „*Flowers o' the corn*“ des britischen Dichters George Gordon BYRON (1788-1824) kommt die enge Verbindung unserer 3 Unkrautarten mit Getreide zum Ausdruck: „*Flowers fresh in hue, and many in their class / implore the passing step, and with their dyes/ dance in the soft breeze in a fairy mass. / And how near the corn grows.*“ Die bildliche Umsetzung dieses Gedichts 1920 durch den US-amerikanischen Grafiker MCKNIGHT KAUFFER (1891-1954) mit *Centaurea cyanus*, *Matricaria recutita* und *Papaver rhoeas* wurde 1984 vom London Transport Executive als Plakat herausgebracht.

Jean-Antoine WATTEAUS (1684-1721) *Ceres*, die römische Göttin des Ackerbaus mit der Sichel in der Hand, trägt in ihrem Haar einen Kornnährenkranz mit *Centaurea cyanus*, *Matricaria recutita* und *Papaver rhoeas*. Eine recht üppige allegorische Sommerschöne Alfons Maria MUCHAS (1860-1939) hält in beiden Armen ebenso üppige Sträuße mit den 3 Feldblumen, die sie eben beim Durchstreifen des Kornfelds gepflückt haben muss. Vincent VAN GOGH hat mehrere Stillleben mit *Centaurea cyanus*, *Matricaria recutita* und *Papaver rhoeas* gemalt. Von den Gemälden mit seinem Freund Roulin gibt es Versionen mit einer Tapete mit diesen Arten im Hintergrund.

Es ist ökologisch ganz naheliegend, die 3 Acker-Unkrautarten zusammen mit Getreide zu zeigen oder abzubilden, ob an Erntekronen, als ländlichen Museumsdekorationen, in Bäckereien und dann vor allem auf den Verpackungen für Backwaren. Auf einer Knäckebröt-Dose mähen schon mal fleißige

Zwerg ein Gerstenfeld, in dem auch noch zur Erntezeit *Centaurea*, *Matricaria* und *Papaver* in Hülle und Fülle blühen. Honiggläser werden häufig mit den 3 Unkrautarten verziert, denn die Honig-Bienen sammeln auf all diesen Arten Nektar. Für andere naturbezogene Produkte wird auch gern mit Abbildungen der 3 Arten geworben, so für Müesli-Mischungen, auch für Margarinen; sogar in Fleischereien und Schinkenläden lassen sich Sträuße dieser Arten finden.

Was sonst, als Lebensfreude anzuzeigen, wird den immer scharfsinnigen Beobachter Georges SIMENON (1903-1989) dazu bewogen haben, die Damenhüte des Jahres 1913 mit damals offenbar modischen Accessoires auszustatten, als seinem Kriminalkommissar Maigret (SIMENON, 1949) „strahlende Erinnerung an den schönsten Frühling in Paris blieb, [...] als hätte allenthalben ein Blühen [...] begonnen; auf den Hüten wippten schon Margeriten [s. o.], Kornblumen und Mohn“?!

Nicht von ungefähr ist auch einmal 1986 die Auslage eines Dessous-Geschäfts in Ischia-Porto mit einem Korb voll *Centaurea cyanus*, *Papaver rhoeas* und *Tripleurospermum inodorum* geschmückt worden. Dieselben Arten waren auch in der Auslage einer Drogerie 1995 in Bad Säckingen als Schmuck des Schaufensters zu sehen, wo ein Schminkkoffer mit den typischen Utensilien ausgestellt war.

Auf einem Flohmarkt im dänischen Rørvig auf Seeland gab es 1985 ein sicherlich etwa 100 Jahre altes Ölgemälde eines vermutlich schwedischen Malers mit den 3 Feldblumen zu kaufen (s. o.), in Schweden eine mit diesen Arten bunt bekränzte Puppe; bei der „denke ich oft an Piroshka“, den Film dieses Namens von 1955, in dem die Filmschauspielerin Lilo Pulver ebenso geschmückt zum Tanzfest fährt. - Mit demselben 3-Arten-Motiv von *Centaurea cyanus*, *Matricaria recutita* und *Papaver rhoeas*, überwiegend auch mit Kornähren bereichert, wurden noch viele andere Objekte gefunden, z. B. sog. Bauernkränze, Stoff- und Plastik-Einkaufstaschen, Schuh-Reklamen, Flaschen für Weine aus Biologischem Anbau, ein DHL-Standardpäckchen (2011), Restaurant-Geschirr (1988 in Frankreich), Herdplatten-Abdeckungen, ein von Hand bemaltes Auto, alemannische Fasnachtmasken (1994 im Heimat-Museum Bad Säckingen), Bierglas-Manschetten, Geburtstags-Grußkarten, Poesiealbumblättern, der Katalog zu einer Ausstellung „Lebensraum Feld“ im Staatlichen Naturhistorischen Museum Braunschweig, Porzellan-Lampenkörper, Steingut- und Porzellan-Vasen (z. B. im Topkapı-Palast, Istanbul) oder die 1936 handgestickte Sommer-Tischdecke der Schwiegermutter.

4. Diskussion - Rückblick, Ausblick

Neben künstlerisch ernsten, ländlich betonten, lebensnahen oder einfach farblich schönen Darstellungen der blauen, roten und weißen Unkrautarten *Centaurea cyanus*, *Papaver rhoeas* und *Matricaria recutita* kommt auch oft die nostalgische Landlust einer weitgehend verstädterten Bevölkerung zum Ausdruck, so dass manche Darstellungen heftig an Naturkitsch grenzen können.

Man kann davon ausgehen, dass diese Kombination der 3 Unkrautarten immer wieder von Malern, von Kunsthandwerkern oder von Kunstblumen-Herstellern sowie von Werbeleuten aufgegriffen werden wird, weil es eben ein freundliches und an Herz und Gemüt rührendes Motiv ist. Alle diese Objekte entziehen sich aber einer systematischen Sammlung.

Literatur

- AIGNER, M., 2008A: TRADITIONELLE FARBSYMBOLIK - WAS BLAU, ROT, GRÜN, GELB, VIOLETT ... BEDEUTEN UND WIE SIE WIRKEN. WWW.SUITE101.DE, 2008-02-09.
- AIGNER, M., 2008B: DIE KRAFT DER FARBE ROT - KRÄFTIGENDE WIRKUNG FÜR KÖRPER, GEIST UND SEELE. WWW.SUITE101.DE, 2008-10-06.
- ANONYMUS, 2011: IN FLANDERS FIELDS. - [HTTP://DE.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/IN_FLANDERS_FIELDS](http://DE.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/IN_FLANDERS_FIELDS).
- BROHMER, P., 1938: DIE DEUTSCHEN LEBENSGEMEINSCHAFTEN - EIN LEHRER-HANDBUCH FÜR DEN BIOLOGIEUNTERRICHT. HEFT 4: WIESE UND FELD. 2., VERBESSERTERTE AUFLAGE. A. W. ZICKFELDT VERLAG, OSTERWIECK/HARZ UND BERLIN, 130 S.
- CHÂTELET, N., 1999: DIE KLATSCHMOHNFRAU. KIEPENHEUER & WITSCH, KÖLN. KIWI-PAPERBACK 615.
- ELENDER, S., 2011: FARBEN - FARBSYMBOLIK - DIE SEITE ÜBER FARBEN - INTERESSANTES UND UNGEWÖHNLICHES ÜBER SYMBOLIK, WIRKUNG UND GESCHICHTE. WWW.GALERIE-ELENDER.DE, 2011-01-17.
- HANF, M., 1990: FARBATLAS FELDFLORA: WILDKRÄUTER UND UNKRÄUTER. ULMER, STUTTGART. 254 S., 207 FARBFOTOS, 23 TABELLEN.

- HOFMEISTER, H. UND E. GARVE, 1998: LEBENSRAUM ACKER. 2., NEUBEARBEITETE AUFLAGE. PAREY BUCHVERLAG, BERLIN.
- HOLDEN, E., 1977: THE COUNTRY DIARY OF AN EDWARDIAN LADY. WEBB & BOWER LTD., EXETER. [DEUTSCH: VOM GLÜCK, MIT DER NATUR ZU LEBEN – DAS TAGEBUCH DER EDITH HOLDEN – NATURBEOBACHTUNGEN AUS DEM JAHRE 1906. DEUTSCHER TASCHENBUCH VERLAG: DTV 1580, 1982.]
- KOCH-GOTHA, F. UND A. SIXTUS, [1924]: DIE HÄSCHENSCHULE – EIN LUSTIGES BILDERBUCH. ALFRED HAHN'S VERLAG K.G., HAMBURG, VERL. NR. 32.
- MARTIN, F., 1901: NATURGESCHICHTE. - NEU BEARBEITET VON SEMINARLEHRER M. Kohler. VERLAG VON EMIL BARTH, STUTTGART.
- MCCRAE, J. A., 1915: IN FLANDERS FIELDS. - ZEITSCHRIFT *PUNCH*, 8. DEZ. 1915.
- MCKNIGHT KAUFFER, E., 1920: FLOWERS O' THE CORN. LONDON TRANSPORT'S HISTORIC POSTER ARCHIVES.
- MERCKER, R., 2000: KREUZKIRCHE ALT-LEHNDORF – INFORMATIONEN ZUR GESCHICHTE. FALTBLATT DER KREUZGEMEINDE ALT-LEHNDORF, BRAUNSCHWEIG.
- SIMENON, G., 1949: MAIGRETS ERSTE UNTERSUCHUNG. – ZITIERT VON KESTING (2003).
- SCHMITT, C., O. J.: LEBENSGEMEINSCHAFTEN DER DEUTSCHEN HEIMAT - DAS KORNFELD. VERLAG VON QUELLE & MEYER, LEIPZIG.
- SCHULZE, A., 2008: „AKTION UNGEZIEFER“/„AKTION KORNBLOME“ – ZWANGSAUSSIEDLUNGEN AN DER INNERDEUTSCHEN GRENZE. FACHVORTRAG ZUM TAG DER DEUTSCHEN EINHEIT AM 3. OKTOBER 2008 IN KÖTHEN. KONRAD-ADENAUER-STIFTUNG, PUBLIKATIONEN BILDUNGSZENTRUM SCHLOSS WENDGRÄBEN. KAS.DE.
- STIFTER, A., 1925: FELDBLUMEN - NACH DER URFASSUNG HERAUSGEGEBEN VON MAX STEFL. – DIE BÜCHER DER DEUTSCHEN MEISTER, 31-160. DEUTSCHE MEISTER-VERLAG, MÜNCHEN.
- THAER, A., 1923: DIE LANDWIRTSCHAFTLICHEN UNKRÄUTER. FARBIGE ABBILDUNG, BESCHREIBUNG UND VERTILGUNGSMITTEL DERSELBEN. – VIERTE AUFLAGE, NEUBEARBEITET VON O. APPEL, 24 FARBENDRUCKTAFELN NEBST TEXT, 56 S. VERLAGSBÜCHERHANDLUNG PAUL PAREY, BERLIN.
- ZERLING, C., 2007: LEXIKON DER PFLANZENSYMBOLIK. AT VERLAG, BADEN, MÜNCHEN, 336 S.
- ZINK-PINGEL, E., 1987: EIN MÄUSEABENTEUER. RAVENSBURGER BUCHVERLAG OTTO MAIER, RAVENSBURG. KLEINE RAVENSBURGER NR. 9.

Autorenindex - List of Authors

A	
Agrikola, Yvonne	111
Ahaus, Hermann	601
Artl, Klaus	712
B	
Balgheim, Rolf	89, 301
Barbosa Martins, Bianca Assis	177
Barcikowski, Stephan	215
Becker, Jörg	469
Beffa, Roland	75, 163, 401
Belz, Regina G.	427
Bergmann, Elke	301
Böhm, Herwart	243
Bonfig-Picard, Georg	385
Bontenbroich, Jürgen	477
Böttger, Hartmut	191
Boz, Özhan	229, 687
Brandes, Welf	520
Brants, Ivo	229
Bremer, Hagen	435, 443
Brust, Jochen	257
Buchmann, Ueli	251
Büchse, Andreas	199
Buhre, Cord	443
C	
Česniènè, Tatjana	679
Christen, Olaf	637
Claupèin, Wilhelm	694
Cotter, Marc	630
D	
Daedlow, Daniel	265
Dammer, Karl-Heinz	191
De la Pena-Lavander, Renzoandre	630
De Mol, Friederike	409, 655
Deiglmayr, Kathrin	719
Dicke, Dominik	199
Dickeduisberg, Michael	459
Diehl, Tobias	514
Diesterheft, Josefine	595
Dietz-Pfeilstetter, Antje	361
Dittmann, Bärbel	708
Doğan, M. Nedim	229, 281, 687
Drobny, Hans G.	21, 540, 571
Duchamp, Guillaume	514
Düfer, Bert	321
E	
Edler, Barbara	587
Eggers, Thomas	727
Einhorn, Gerhard	281
Erdei, Imre	469
F	
Fangmeier, Andreas	369
Fell, Martina	536
Festner, Thomas	127, 133, 419, 671
Figge, Andrea	75
Foresman, Charles L.	103
Franzaring, Jürgen	369
Freitag, Joachim	491
Friessleben, Reinhard	223
Fritzsche, Robert	409
G	
Gantoli, Geoffroy	289
Gatzweiler, Elmar	385
Gehring, Klaus	89, 127, 133, 419, 671
Gerhards, Roland	183, 257, 289, 549
Gerowitz, Bärbel	35, 51, 409, 595, 655, 663
Gibert, Eric	514
Glemnitz, Michael	645, 719
Gößner Katrin	301
Gronle, Annkathrin	243
Gummert, Annett	345
Gutjahr, Christoph	139, 183, 289
H	
Hacker, Erwin	385, 544
Haferkamp, Heinz	215
Hanzlik, Kristin	663
Heibges, Silke	544
Heimler, Franz	719
Heini, Julia	549
Heloise Valensuela	514
Hennens, David	520
Herzog, Christine	251
Hess, Martin	75, 163, 171
Hills, Martin	385
Hiltbrunner, Jürg	251
Hofmann, Bodo	637
Hogrefe, Charlotte	65
Holz, Ingo	369
Homa, Ullrich	469
Honermeier, Bernd	393
Hufnagel, Johannes	645
Hunziker, Hansruedi	251
Hüsgen, Kerstin	139
Hustedt, Michael	215
J	
Jacobi, Jan	199
Jacobsen, Hans Jörg	155
Johnen, Josef	528
Jüttersonke, Barbara	712
K	
Kaiser, Joachim	163, 171
Kauf, Zorica	369
Kaundun, Shiv S.	103
Kehler, Ron	435
Keller, Martina	183, 289
Kerlen, Dirk	57, 149, 401, 557
Kiepe, Björn	506
Kipp, Alexandra	289
Kleizaitè, Violeta	679
Klingenhagen, Günter	81, 601
Kluge, Alexander	235
Komives, Tamas	207
Konradt, Manfred	514
Krähmer, Hansjörg	15, 385, 393, 694
Krato, Christoph	353, 451
Kreye, Holger	313
Kruse, Markus	571

L

Laber, Bernd	75, 163, 401
Ladewig, Erwin	345, 443
Langemann, Dirk	119
Larelle, Dominique	469
Le Goupil, Gael	103
Leberle, Claudia	427
Lorentz, Lothar	75
Luginbühl, Carolin	251

M

Mainx, Hans-Georg	549
Mallory-Smith, Carol	177
Märländer, Bernward	345
Marx, Christian	215
Meinen, Catharina	702
Meiners, Ingo	393
Meinlschmidt, Ewa	89, 301
Menne, Hubert J.	65, 163, 401
Merz, Friedrich	139
Michel, Albrecht	103, 377
Moll, Eckard	337
Mülleder, Norbert	229

N

Nakamura, Shin	544
Naruhn, Georg	43
Naugžemys, Donatas	679
Naunheim, Peter	223, 557
Nordmeyer, Henning	57, 149, 235, 463
North, Dugald	520

O

Ögüt, Derya	229, 281, 687
Ophoff, Holger	506

P

Pallutt, Bernhard	337
Pastrana-Peréz, Julio	215
Patamsytė, Jolanta	679
Perez-Jones, Alejandro	177
Peters, Kristian	35
Petersen, Jan	43, 111, 353, 451
Pfenning, Matthias	435
Polge, Nicholas D.	103
Proges, Alexander	155

R

Räder, Thomas	321
Raffel, Hans	43
Rančelis, Vytautas	679
Rath, Thomas	215
Rauber, Rolf	702
Reisinger, Peter	207
Reitz, Tanja	139
Richter, Otto	57, 119, 149
Rießner, Katrin	637
Rischewski, Petra	712
Roland, Gerhards	694
Rosenau, Roland	191
Rosinger, Christopher	544
Rueegg, Willy	377
Ruiz-Santaella, Juan Pedro	75
Rummland, Janin	57, 119, 149

S

Sanchez-Olguin, Elena	177
Santel, Hans-Joachim	499
Sarazin, Michel	520
Sato, Yoshitaka	544
Sauerborn, Joachim	630
Schenke, Ewald	563
Scherrer, Caroline	251
Schlang, Norbert	540
Schleich-Saidfar, Constanze	89
Schönhammer, Alfons	491, 663
Schröder, Gerhard	301
Schulte, Martin	21, 321, 483, 655
Schulz, Andrea	51
Schwarz, Jürgen	337
Seemann, Eckhard	409
Shirakura, Shinichi	544
Siebert, Lothar	637
Söchting, Hans-Peter	329
Sökefeld, Markus	183
Sölter, Ulrike	627
Sommer, Tabea	265
Stadler, Hans	514
Starfinger, Uwe	605, 623, 627
Stauß, Reinhold	579
Steinheuer, Magnus	321, 483
Steinmann, Horst-Henning	459, 587
Strek, Harry J.	21, 75, 163, 171
Stuebler, Hermann	15

T

Theuvsen, Ludwig	459
Thöle, Heinrich	361
Thyssen, Stefan	127, 133, 419, 671
Toews, Ralph-Burkhardt	223
Trabold, Klaus	385
Tunaitienė, Virginija	679

U

Uhl, Thomas	571
-------------------	-----

V

Valensuela, Heloise	514
Verschwele, Arnd	273, 605, 627
Voegler, Wolfgang	229, 506
Von Redwitz, Christoph	655

W

Wagner, Jean	155
Wartenberg, Gerhard	191
Waßmuth, Birte	605
Wegener, Martin	528
Weis, Martin	183
Weller, Sebastian	369
Werner, Bernhard	409, 615
Westerman, Paula R.	265, 595
Wiesmann, Bernd	601
Willeke, Leonie	694
Wirth, Martin	601
Wolber, Dirk Michael	313

Z

Zink, Jürgen	514
Žvingila, Donatas	679
Zwerger, Peter	3

Veröffentlichungen des JKI

Das **Julius-Kühn-Archiv** setzt die seit 1906 erschienenen Mitteilungshefte, eine Reihe von Monographien unterschiedlichster Themen von Forschungsarbeiten bis zu gesetzlichen Aufgaben fort. Alle bisher erschienenen Ausgaben sind OPEN ACCESS kostenfrei im Internet zu lesen.

Öffentlichkeit und Fachwelt versorgen wir zusätzlich mit verschiedenen Informationsangeboten über alle Aspekte rund um die Kulturpflanzen. Hierfür stehen verschiedene Broschüren, Faltblätter, Fachzeitschriften und Monographien aber auch verschiedene Datenbanken als Informationsressourcen zur Verfügung.

Für die Allgemeinheit sind vor allem die Faltblätter gedacht, die über Nützlinge im Garten, aber auch über spezielles wie den Asiatischen Laubholzbockkäfer informieren. Außerdem ist der regelmäßig erscheinende Jahresbericht allgemein interessant, vor allem mit den umfassenden Artikeln zu besonderen Themen, die Sie aber auch im Internet auf den thematisch dazugehörigen Seiten finden.

Seit 2009 wird vom Julius Kühn-Institut als wissenschaftliches Fachorgan das **Journal für Kulturpflanzen – Journal of Cultivated Plants** (vormals Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes) monatlich herausgegeben (<http://www.journal-kulturpflanzen.de>).

Weiterführende Informationen über uns finden Sie auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts unter <http://www.jki.bund.de> im Bereich Veröffentlichungen.

Spezielle Anfragen wird Ihnen unsere Pressestelle (pressestelle@jki.bund.de) gern beantworten.

Anschrift für **Tauschsendungen**:

Please address **exchanges** to:

Adressez **échanges**, s'il vous plait:

Para el **canje** dirigirse por favor a:

Informationszentrum und Bibliothek
Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Königin-Luise-Straße 19
D-14195 Berlin, Germany
E-Mail: ib@jki.bund.de

25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung

Die Deutschen Arbeitsbesprechungen über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung bieten traditionell eine sehr breite Plattform zu allen Fragen der Herbologie und geben den aktuellen Erkenntnisstand im Bereich der Herbologie wider. Im Mittelpunkt der Fachtagung stehen Inhalte zu Forschung und Entwicklung zu Themen der Herbizidresistenz bei Unkräutern, Precision Farming und Anwendungstechnik, alternative Managementverfahren, Herbizid-Management, neue Entwicklungen in der chemischen Unkrautkontrolle, neue Herbizide, Klimawandel und Neophyten sowie zur Populationsdynamik und Biodiversität. Ziel der Fachtagung ist es, herbologische Fragestellungen mit Experten von Hochschulen, Industrie, Pflanzenschutzberatung und öffentlicher Verwaltung zu diskutieren.

Die Tagung wird veranstaltet vom Julius Kühn-Institut (JKI), dem Institut für Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig und dem Arbeitskreis Herbologie der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft (DPG).

25th German Conference on Weed Biology and Weed Control

Traditionally, the German conference on weed biology and weed control offers a broad platform for discussion of all questions related to weed science and reflects the current state of the art. The symposium is focused on topics such as evolution of herbicide resistance in weeds, Precision Farming and application technology, alternative management strategies, herbicide management, recent developments in chemical weed control, new herbicide products, climate change and neophytes as well as population dynamics and biodiversity. The aim of the symposium is to facilitate a discussion among experts coming from universities, industry, plant protection advisory services and administration.

The conference is organized by the Julius Kühn-Institute (JKI), the Institute for Geoecology of the Technical University Braunschweig and the Weed Science Working Group of the German Phytomedical Society (DPG).

Die 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung wird freundlicherweise unterstützt durch:



Bayer CropScience



The miracles of science™



Dow AgroSciences

syngenta®

