

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

25<sup>th</sup> German Conference on

## Weed Biology and Weed Control

March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany

Volume 1: pp. 1-416



### **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](mailto: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](mailto: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](mailto: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**

25<sup>th</sup> German Conference on

**Weed Biology and Weed Control**

March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany

Volume 1: pp. 1-416



**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  
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.

## **Vorwort**

### **Preface**

Die 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung findet dieses Jahr erstmals in Braunschweig statt und wird vom Julius Kühn-Institut (JKI), dem Institut für Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig und dem Arbeitskreis Herbologie der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft (DPG) veranstaltet. Obwohl sich Tagungsort und Veranstalter geändert haben, wurde am Titel der Tagung sowie im Wesentlichen auch am Format festgehalten. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass die Tradition der sogenannten „Unkrauttagungen“, wie sie 1955 von Prof. Rademacher begründet wurde, fortgeführt werden soll. Seit 1955 fand die Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung regelmäßig statt und diente der Vorstellung und Diskussion neuer Forschungsergebnisse sowie dem Austausch von aktuellen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Herbologie. Damit waren die Unkrauttagungen stets ein fester Bestandteil im Veranstaltungskalender für die an der Herbologie interessierten Kolleginnen und Kollegen der Hochschulen, Industrie, Beratung und öffentlichen Verwaltung. Ziel war es dabei immer, die Manuskripte der Vorträge und Poster in einem Tagungsband zusammenzustellen und zu veröffentlichen. So erschienen erstmals die Ergebnisse der 2. Deutschen Arbeitsbesprechung im Heft 87 der Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt. Seit 1961 wurden die Beiträge dann in Sonderheften der Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz veröffentlicht, die schon zu Beginn der Tagung jedem Tagungsteilnehmer vorlagen. Somit geben die Tagungsbände den jeweiligen Erkenntnisstand im Bereich der Herbologie wider; sie zeigen, welche Themen und Fragestellungen in den einzelnen Jahren aktuell waren und wann welche Entwicklungen begonnen bzw. geendet haben. Zwar finden sich bestimmte Bereiche wie die Unkrautbiologie oder Neuentwicklungen im Bereich der Herbizide über die Jahre immer wieder, aber es sind auch neue Themenschwerpunkte wie Precision Farming, Herbizidresistenz oder Auswirkungen des Klimawandels hinzugekommen. Herr Prof. Hurle spricht in seinem Vorwort für die 13. Arbeitsbesprechung im Jahr 1984 noch davon, dass die Herbizidresistenz ein vergleichsweise neues Phänomen für die Herbologie sei und bisher nur von lokaler Bedeutung ist; gleichwohl mahnte er schon damals die Entwicklung wirkungsvoller Strategien an, um einer Ausbreitung entgegenzuwirken. Ein kurzer Blick in die letzten Tagungsbände sowie auch in den aktuell vorliegenden Band zeigen ganz deutlich, dass sich die Herbizidresistenz zu einem Schwerpunktthema entwickelt hat, das uns sicherlich noch länger begleiten wird. In diesem Zusammenhang werden die Möglichkeiten der Bodenbearbeitung und Fruchtfolge als alternative Managementmaßnahmen zur Beeinflussung der Verunkrautung wieder entdeckt; auf den ersten Unkrauttagungen wurde darüber berichtet, wie genau diese Restriktionen durch den Einsatz effektiver Herbizide überwunden werden können. Ein neuer Schwerpunkt wird die Frage sein, welche Auswirkungen der Klimawandel sowohl direkt als auch indirekt auf die Populationsdynamik von Unkräutern haben wird. Das Auftreten neophytischer, invasiver Pflanzenarten sowie das Wiedererstarken bekannter Unkrautarten zeugen davon.

Die Deutschen Arbeitsbesprechungen über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung bieten traditionell eine sehr breite Plattform zu allen Fragen der Herbologie, so dass auch für die Tagung im Jahr 2012 eine hohe Zahl an wissenschaftlichen Beiträgen angemeldet wurde. Das Programmkomitee hat maßgeblich an der Gestaltung des wissenschaftlichen Programms sowie der Auswahl der Beiträge mitgewirkt. An dieser Stelle möchten wir den Mitgliedern des Programmkomitees für ihre Unterstützung ganz herzlich danken.

Die Manuskripte aller angenommenen Vorträge und Poster wurden nach einer Begutachtung redigiert, in einem Tagungsband zusammengefasst und veröffentlicht. Auch allen Gutachtern möchten wir für Ihre Arbeit danken.

Braunschweig, im März 2012

Henning Nordmeyer, Lena Ulber & Peter Zwerger

**Wir danken herzlich für die wissenschaftliche Begutachtung der Tagungsbeiträge durch:**

*We like to thank all reviewers for their effort:*

Rolf Balgheim, Regierungspräsidium Gießen, Deutschland  
Jörg Becker, Dow AgroSciences GmbH, Deutschland  
Regina Belz, Universität Hohenheim, Deutschland  
Carina Bletscher, Syngenta Agro GmbH, Deutschland  
Herwart Böhm, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Trenthorst, Deutschland  
Christian Bohren, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Nyon, Schweiz  
Cord Buhre, Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen, Deutschland  
Rolf Bünte, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Aurich, Deutschland  
Olaf Christen, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Deutschland  
Wilhelm Claupein, Universität Hohenheim, Deutschland  
Karl-Heinz Dammer, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. (ATB), Deutschland  
Friederike de Mol, Universität Rostock, Deutschland  
Dominik Dicke, Regierungspräsidium Gießen, Deutschland  
Hans Günther Drobny, Du Pont de Nemours (Deutschland) GmbH, Deutschland  
Thomas Eggers, ehemals BBA, Deutschland  
Martin Elsässer, LVVG Bildungs- u. Wissenszentrum Aulendorf, Deutschland  
Thomas Engelke, Julius Kühn-Institut (JKI), Braunschweig, Deutschland  
Sabine Fertsak, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Wien, Österreich  
Jürgen Franzaring, Universität Hohenheim, Deutschland  
Reinhard Friessleben, Bayer CropScience AG, Monheim, Deutschland  
Klaus Gehring, LfL Bayern, Institut für Pflanzenschutz, Freising, Deutschland  
Roland Gerhards, Universität Hohenheim, Deutschland  
Bärbel Gerowitt, Universität Rostock, Deutschland  
Michael Glemnitz, Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. Müncheberg, Deutschland  
Reinhard Götz, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, Deutschland  
Simone Graeff-Hönniger, Universität Hohenheim, Deutschland  
Sabine Gruber, Universität Hohenheim, Deutschland  
Hans Ulrich Haas, Syngenta Crop Protection AG, Deutschland  
Wilfried Hermann, Universität Hohenheim, Deutschland  
Bodo Hofmann, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Deutschland  
Barbara, Jüttersonke, ehemals BBA, Kleinmachnow, Deutschland  
Verena Korr, BELCHIM Crop Protection, Burgdorf, Deutschland  
Holger Kreye, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Braunschweig, Deutschland  
Josef Kuhlmann, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Cloppenburg, Deutschland  
Erwin Ladewig, Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen, Deutschland  
Ewa Meinschmidt, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden  
Hubert Menne, Bayer CropScience AG, Frankfurt, Deutschland  
Albrecht Michel, Syngenta Crop Protection AG, Basel, Switzerland  
Henning Nordmeyer, Julius Kühn-Institut (JKI), Braunschweig, Deutschland  
Carola Pekrun, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Deutschland  
Jan Petersen, Fachhochschule Bingen, Deutschland  
Rolf Rauber, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland  
Michael Renton, University of Western Australia, Perth, Australien  
Constanze Schleich-Saidfar, Landwirtschaftskammer Schleswig - Holstein, Deutschland  
Alfons Schönhammer, BASF Aktiengesellschaft, BASF Agrarzentrum Limburgerhof, Deutschland  
Martin Schulte, Syngenta Agro GmbH, Maintal, Deutschland  
Jürgen Schwarz, Julius Kühn-Institut (JKI), Kleinmachnow, Deutschland  
Hans-Peter Söchting, Julius Kühn-Institut (JKI), Braunschweig, Deutschland  
Markus Sökefeld, Universität Hohenheim, Deutschland  
Ulrike Sölter, Julius Kühn-Institut (JKI), Braunschweig, Deutschland  
Uwe Starfinger, Julius Kühn-Institut (JKI), Braunschweig, Deutschland  
Horst-Henning Steinmann, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland  
Lena Ulber, Julius Kühn-Institut (JKI), Braunschweig, Deutschland  
Arnd Verschwele, Julius Kühn-Institut (JKI), Braunschweig, Deutschland  
Bernhard Werner, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover, Deutschland  
Paula Westerman, Universität Rostock, Deutschland  
Judith Wirth, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Deutschland  
Dirk Wolber, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover, Deutschland  
Peter Zwerger, Julius Kühn-Institut (JKI), Braunschweig, Deutschland

**INHALTSVERZEICHNIS**  
**CONTENTS**

**EINLEITENDE REFERATE** **15**

**KEYNOTE PRESENTATION**

TECHNICAL DEMANDS AND POLITICAL RESTRICTIONS FOR WEED CONTROL Unkrautbekämpfung im Spannungsfeld zwischen Anbauproblemen und politischen Rahmenbedingungen Hansjoerg Kraehmer & Hermann Stuebler	15
25 JAHRE SULFONYLHARNSTOFF-HERBIZIDE – EIN PAAR GRAMM VERÄNDERTEN DIE WELT DER CHEMISCHEN UNKRAUTBEKÄMPFUNG 25 years of sulfonylurea herbicides – a few grams changed the world of chemical weed control Hans G. Drobny, Martin Schulte & Harry J. Strek	21
WIE KÖNNTE DER KLIMAWANDEL DAS ZUSAMMENSPIEL VON UNKRÄUTERN UND FELDFRÜCHTEN VERÄNDERN? How might climate change alter the interactions between weeds and crops? Kristian Peters & Bärbel Gerowitt	35

**SEKTION 1: HERBIZIDRESISTENZ BEI UNKRÄUTERN** **43**

**SECTION 1: HERBICIDE RESISTANCE IN WEEDS**

NICHT-ZIELORTRESISTENZEN BEI <i>ALOPECURUS MYOSUROIDES</i> UND <i>APERA SPICA-VENTI</i> – RESISTENZMUSTER UND RESISTENZFAKTOREN Non target-site resistance inherent in <i>Alopecurus myosuroides</i> and <i>Apera spica-venti</i> – resistance pattern and factors Jan Petersen, Georg Naruhn & Hans Raffel	43
VERGLEICH SENSITIVER POPULATIONEN VON <i>APERA SPICA-VENTI</i> L. (P.B.) HINSICHTLICH DER WIRKUNG DES ALS-INHIBITORS IODOSULFURON A comparison of sensitive reference populations of <i>Apera spica-venti</i> L. (P.B.) to ALS inhibiting iodosulfuron Andrea Schulz & Bärbel Gerowitt	51
THE EFFECTS OF DIFFERENT HERBICIDE STRATEGIES ON THE GENETIC COMPOSITION OF <i>APERA SPICA-VENTI</i> (L.) P. BEAUV. Die Effekte von verschiedenen Herbizidstrategien auf die genetische Zusammensetzung von <i>Apera spica-venti</i> (L.) P. Beauv. Janin Rummland, Dirk Kerlen, Henning Nordmeyer & Otto Richter	57
IMPACT OF MULTIPLE RESISTANCE MECHANISMS IN BLACK-GRASS ( <i>ALOPECURUS MYOSUROIDES</i> HUDS.) POPULATIONS ON THE ACTIVITY OF CEREAL HERBICIDES Einfluss von multiplen Resistenzmechanismen in Ackerfuchsschwanz ( <i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.)- Populationen auf die Wirksamkeit von Getreideherbiziden Hubert J. Menne & Charlotte Hogrefe	65
WEED RESISTANCE DIAGNOSTIC TECHNOLOGIES TO DETECT HERBICIDE RESISTANCE IN CEREAL-GROWING AREAS. A REVIEW Diagnosetechnologien zur Detektion von Herbizidresistenz im Getreideanbau. Ein Überblick Roland Beffa, Andrea Figge, Lothar Lorentz, Martin Hess, Bernd Laber, Juan Pedro Ruiz-Santaella & Harry Strek	75

COMPARISON OF DIFFERENT BLACK-GRASS POPULATIONS ( <i>ALOPECURUS MYOSUROIDES</i> HUDS.) IN THEIR SUSCEPTIBILITY TO HERBICIDES UNDER FIELD CONDITIONS Vergleich verschiedener Ackerfuchsschwanz Populationen ( <i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.) in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Herbiziden unter Freilandbedingungen Günter Klingenhagen	81
PRINZIPIEN EINER ANTI-RESISTENZSTRATEGIE BEI DER BEKÄMPFUNG VON <i>ALOPECURUS MYOSUROIDES</i> UND <i>APERA SPICA-VENTI</i> AUS SICHT DES PFLANZENSCHUTZDIENSTES Principles of resistance management for the control of <i>Alopecurus myosuroides</i> and <i>Apera spica-venti</i> in the view of the official plant protection service Klaus Gehring, Rolf Balgheim, Ewa Meinlschmidt & Constanze Schleich-Saidfar	89
<i>AMARANTHUS</i> DEVELOPS RESISTANCE TO HPPD INHIBITORS IN SEED CORN PRODUCTION FIELDS - ANOTHER EXAMPLE OF LACK OF DIVERSITY IN THE WEED CONTROL PROGRAM <i>Amarant</i> entwickelt Resistenz gegen HPPD-Hemmer in Saatmais Produktionsfeldern - ein weiteres Beispiel für fehlende Vielfalt in den Unkrautbekämpfungsverfahren Albrecht Michel, Charles L. Foresman, Nicholas D. Polge, Shiv S. Kaundun & Gael Le Goupil	103
BEDEUTUNG UND BEKÄMPFUNGSANSÄTZE VERSCHIEDENER PHOTOSYSTEM-II-INHIBITOR-RESISTENZEN BEI <i>CHENOPODIUM ALBUM</i> IN ZUCKERRÜBEN UND KARTOFFELN Importance and approaches for the control of different photosystem-II-inhibitor resistant <i>Chenopodium album</i> biotypes in sugar beet and potatoes Yvonne Agrikola & Jan Petersen	111
A DISCRETE EVOLUTIONARY GENETIC MODEL FOR THE EMERGENCE OF METABOLIC RESISTANCE Ein zeitdiskretes genetisches Modell für die Entwicklung metabolischer Resistenz Otto Richter, Dirk Langemann & Janin Rummland	119
HERBIZIDRESISTENZ BEI <i>ALOPECURUS MYOSUROIDES</i> HUDS. IN BAYERN Herbicide resistance of <i>Alopecurus myosuroides</i> Huds. in Bavaria Klaus Gehring, Stefan Thyssen & Thomas Festner	127
HERBIZIDRESISTENZ BEI <i>APERA SPICA-VENTI</i> L. IN BAYERN Herbicide resistance of <i>Apera spica-venti</i> L. in Bavaria Klaus Gehring, Stefan Thyssen & Thomas Festner	133
UNTERSUCHUNGEN ZUR RESISTENZ VON ACKER-FUCHSSCHWANZ IN BADEN-WÜRTTEMBERG UND ZUR WIRKUNG VON HERBIZIDEN IN WINTERWEIZEN IM HINBLICK AUF DIE VERMEIDUNG VON RESISTENZ Investigations into resistance in black-grass ( <i>Alopecurus myosuroides</i> ) in Baden-Württemberg and into herbicidal efficiency to reduce the risk of resistance developing Christoph Gutjahr, Kerstin Hüsgen, Tanja Reitz & Friedrich Merz	139
MODELLING THE DEVELOPMENT OF HERBICIDE RESISTANCE Modellierung der Entwicklung von Herbizidresistenz Janin Rummland, Dirk Kerlen, Henning Nordmeyer & Otto Richter	149
EINSATZ DER DCAPS-TECHNOLOGIE ZUR DIFFERENZIERUNG VON TRP574-LEU UND SER653-ASN IN BLATTPROBEN VON RAPS UND CLEARFIELD®-RAPS The utilization of the dCAPS technology to discriminate Trp574-Leu and Ser653-Asn in leaf samples of Clearfield® oilseed rape and conventional oilseed rape Alexander Proges, Hans-Jörg Jacobsen & Jean Wagner	155



STATUS AND DEVELOPMENT OF ACCASE AND ALS INHIBITOR RESISTANT BLACK-GRASS ( <i>ALOPECURUS MYOSUROIDES</i> HUDS.) IN NEIGHBORING FIELDS IN GERMANY Status und Entwicklung von ACCase- und ALS-Inhibitor resistenten Ackerfuchschswanz ( <i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.) in benachbarten Feldern in Deutschland Martin Hess, Roland Beffa, Joachim Kaiser, Bernd Laber, Hubert Menne & Harry Streck	163
GLYPHOSAT-RESISTENZ IN AMERIKANISCHE REIHENKULTUREN UND LEHREN FÜR DIE UNKRAUTBEKÄMPFUNG IN EUROPA Glyphosate resistance in American row crops and lessons for weed control in Europe Harry J. Streck, Martin Hess & Joachim Kaiser	171
ACCASE CROSS-RESISTANCE IN ITALIAN RYEGRASS ( <i>LOLIUM MULTIFLORUM</i> ) SUB-POPULATIONS FROM OREGON, US ACCCase-Kreuzresistenz bei Subpopulationen des Italienischen Weidelgrases ( <i>Lolium multiflorum</i> ) in Oregon, USA Bianca Assis Barbosa Martins, Elena Sanchez-Olguin, Alejandro Perez-Jones & Carol Mallory-Smith	177
<b>SEKTION 2: PRECISION FARMING UND ANWENDUNGSTECHNIK</b>	<b>183</b>
<hr/>	
<b>SECTION 2: PRECISION FARMING AND APPLICATION TECHNOLOGY</b>	
USING BI-SPECTRAL IMAGING TECHNOLOGY FOR SIMULATED ONLINE-WEED CONTROL IN WINTER WHEAT AND MAIZE Simulation einer online Unkrautkontrolle in Winterweizen und Mais unter Verwendung von Bispektralkameras Markus Sökefeld, Martina Keller, Martin Weis, Christoph Gutjahr & Roland Gerhards	183
ECHTZEITREGELUNG DER APPLIKATIONSMENGE BEI DER HERBIZIDANWENDUNG MIT HILFE EINES KAMERASENSORS Online variable rate herbicide application using a camera sensor Karl-Heinz Dammer, Hartmut Böttger, Gerhard Wartenberg & Roland Rosenau	191
QUANTIFYING HERBICIDE INJURIES IN MAIZE BY USE OF REMOTE SENSING Quantifizierung von Herbizidschäden in Mais mit Hilfe von Fernerkundung Dominik Dicke, Jan Jacobi & Andreas Bückhe	199
PRECISION WEED CONTROL IN SUNFLOWER AND MAIZE - EXPERIENCES FROM HUNGARY Präzise Unkrautkontrolle in Sonnenblume und Mais - Erfahrungen aus Ungarn Tamas Komives & Peter Reisinger	207
SELEKTIVE UNKRAUTBEKÄMPFUNG MITTELS LASERTECHNIK Selective weed control using laser techniques Christian Marx, Julio Pastrana-Peréz, Michael Hustedt, Stephan Barcikowski, Heinz Haferkamp & Thomas Rath	215
MEHRJÄHRIGE VERSUCHSERGEBNISSE ZUM EINFLUSS VERSCHIEDENER APPLIKATIONSTECHNIKEN AUF DIE SELEKTIVE GRÄSERKONTROLLE IM GETREIDE Multiannual results on the influence of different application techniques on the efficacy of selective grass control in cereals Ralph-Burkhardt Toews, Reinhard Friessleben & Peter Naunheim	223
EFFECT OF WATER VOLUME AND WATER QUALITY ON THE EFFICACY OF GLYPHOSATE ON SOME IMPORTANT WEED SPECIES IN TURKEY Einfluss von Wassermenge und -qualität auf die Wirksamkeit von Glyphosat bei wichtigen Unkrautarten in der Türkei M. Nedim Doğan, Derya Ögüt, Norbert Müllleder, Özhan Boz, Ivo Brants & Wolfgang Voegler	229

VERFAHREN DER BILDANALYSE ZUR UNKRAUTERKENNUNG IN GETREIDE Procedures of image analysis for weed recognition in cereals Alexander Kluge & Henning Nordmeyer	235
---	-----

---

**SEKTION 3: ALTERNATIVE MANAGEMENTVERFAHREN** **243**

**SECTION 3: ALTERNATIVE MANAGEMENT STRATEGIES**

KANN EIN MISCHFRUCHTANBAU VON ERBSEN UND GETREIDE BEI FLACHWENDENDER BEARBEITUNG DAS IM VERGLEICH ZUR TIEFWENDENDEN BEARBEITUNG VORHANDENE HÖHERE UNKRAUTAUFKOMMEN IM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU KOMPENSIEREN?	243
--	-----

Does a pea-cereal intercropping under shallow ploughing compensate for the higher weed growth compared to deep ploughing in organic farming?

Annkathrin Gronle & Herwart Böhm

MECHANICAL CONTROL OF WEEDS WITHIN THE CROP ROW OF ORGANICALLY GROWN SOYBEANS	251
---	-----

Mechanische Unkrautregulierung in der Saatreihe von Soja

Jürg Hiltbrunner, Carolin Luginbühl, Ueli Buchmann, Christine Herzog, Hansruedi Hunziker & Caroline Scherrer

LOPSIDED OAT ( <i>AVENA STRIGOSA</i> ) AS A NEW SUMMER ANNUAL COVER CROP FOR WEED SUPPRESSION IN CENTRAL EUROPE	257
--	-----

Rauhafer (*Avena strigosa*) als neue Zwischenfrucht zur Unkrautunterdrückung in Mitteleuropa  
Jochen Brust & Roland Gerhards

WEED SEED PREDATION IN ORGANIC AND CONVENTIONAL CEREAL FIELDS	265
---	-----

Samenfraß in Getreide auf ökologisch und konventionell bewirtschafteten Feldern

Daniel Daedlow, Tabea Sommer & Paula R. Westerman

UNKRÄUTER AUF WEGEN UND PLÄTZEN UND IHRE BEKÄMPFUNG	273
---	-----

Weeds on pavements and their control

Arnd Verschwele

CONTROL OF <i>CHENOPODIUM ALBUM</i> L. UTILIZING TWO PLANT PATHOGENIC FUNGI IN COMBINATION WITH REDUCED DOSES OF NICOSULFURON	281
--	-----

Bekämpfung von *Chenopodium album* L. mit Hilfe von zwei pflanzen-pathogenen Pilzen  
in der Kombination mit reduzierten Aufwandmengen von Nicosulfuron

Derya Ögüt, M. Nedim Doğan & Gerhard Einhorn

THE EFFECT AND DYNAMICS OF WEED COMPETITION ON MAIZE IN GERMANY AND BENIN	289
---	-----

Wirkung und Dynamik der Unkrautkonkurrenz auf Mais in Deutschland und Benin

Martina Keller, Geoffroy Gantoli, Alexandra Kipp, Christoph Gutjahr & Roland Gerhards

---

**SEKTION 4: HERBIZID-MANAGEMENT** **301**

**SECTION 4: HERBICIDE MANAGEMENT**

EFFEKTIVE KONTROLLE VON WINDHALM ( <i>APERA SPICA-VENTI</i> (L.) P. B.) IN WINTERGETREIDE DURCH NUTZUNG VON HERBIZIDBEHANDLUNGEN MIT HOHEN WIRKUNGSGRADEN – ERGEBNISSE DER RINGVERSUCHE DER BUNDESLÄNDER BRANDENBURG, HESSEN, SACHSEN, SACHSEN-ANHALT UND THÜRINGEN VON 2001-2011	301
--	-----

Effective control of loose silky-bent (*Apera spica-venti* (L.) P.B.) in winter cereals using highly efficacious herbicide treatments. Results of comparative trials in the federal states Brandenburg, Hessen, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia from 2001 to 2011

Gerhard Schröder, Ewa Meinlschmidt, Rolf Balgheim, Elke Bergmann & Katrin Gößner

ANTAGONISTISCHE EFFEKTE MIT PINOXADEN Antagonistic effects with Pinoxaden Dirk Michael Wolber & Holger Kreye	313
WAS MACHT(E) TERBUTHYLAZIN ZUM BASISWIRKSTOFF DER CHEMISCHEN UNKRAUTBEKÄMPFUNG IM MITTELEUROPÄISCHEN MAISANBAU? EINE NUTZENBETRACHTUNG Why has Terbuthylazine become the basic component of weed control in maize cropping of Central Europe? A benefit assessment Martin Schulte, Magnus Steinheuer, Bert Düfer & Thomas Räder	321
UNKRAUTKONKURRENZ UND BIOMASSEBILDUNG VON MAIS UND SORGHUM BEI UNTERSCHIEDLICHER HERBIZIDINTENSITÄT Weed competition and biomass production of maize and sorghum under different herbicide intensity level Hans-Peter Söchting & Peter Zwerger	329
EINFLUSS VON FRUCHTFOLOGE UND HERBIZIDAUFWANDMENGE AUF DIE VERUNKRAUTUNG Influence of crop rotation and herbicide dosage on the weed infestation Jürgen Schwarz, Bernhard Pallutt & Eckard Moll	337
LEITLINIEN FÜR DEN INTEGRIERTEN PFLANZENSCHUTZ IM ZUCKERRÜBENANBAU: ASPEKTE DER UNKRAUTREGULIERUNG Guidelines for integrated pest management in sugar beet cultivation: aspects of weed control Annett Gummert, Erwin Ladewig & Bernward Märländer	345
WIRKSAMKEIT UNTERSCHIEDLICHER HERBIZIDE BZW. HERBIZID-MISCHUNGEN GEGEN IMIDAZOLINON-TOLERANTEN AUSFALLRAPPS IN ZUCKERRÜBEN Response of imidazolinone-tolerant volunteer oilseed rape to herbicides and herbicide mixtures used for broad-leaved weed control in sugar beet Christoph Krato & Jan Petersen	353
MARKER-ASSISTED IDENTIFICATION OF OILSEED RAPE VOLUNTEERS IN OILSEED RAPE ( <i>BRASSICA NAPUS L.</i> ) FIELDS Marker-vermittelte Identifizierung von Durchwuchsrapps in Rapsfeldern Heinrich Thöle & Antje Dietz-Pfeilstetter	361
HAZARDOUS DOSES OF THE HERBICIDE IMAZAMOX IN WILD PLANT SPECIES AND OILSEED RAPE CULTIVARS Schädliche Dosen des Herbizids Imazamox bei verschiedenen Wildpflanzenarten und Rapssorten Jürgen Franzaring, Zorica Kauf, Ingo Holz, Sebastian Weller & Andreas Fangmeier	369
EARLY SEASON WEED CONTROL IN MAIZE, NEW INSIGHTS FOR A KNOWN PHENOMENON Frühe Unkrautkontrolle in Mais, neue Erkenntnisse zu einem bekannten Phänomen Willy Rueegg & Albrecht Michel	377
WEED SPECTRUM AND SELECTIVITY OF TEMBOTRIONE UNDER VARYING ENVIRONMENTAL CONDITIONS Unkrautspektrum und Selektivität von Tembotrione unter verschiedenen Umweltbedingungen Elmar Gatzweiler*, Hansjörg Krähmer, Erwin Hacker, Martin Hills, Klaus Trabold & Georg Bonfig-Picard	385
SOIL ACTIVITY OF POST-EMERGENT HERBICIDES RECOMMENDED FOR BLACK-GRASS AND LOOSE SILKY-BENT GRASS CONTROL IN WINTER WHEAT Bodenwirkung von empfohlenen Nachaufhafterbiziden gegen Acker-Fuchsschwanz und Windhalm in Winterweizen Ingo Meiners, Hansjörg Krähmer & Bernd Honermeier	393

EFFECTIVENESS OF FLUFENACET IN CONTROLLING RESISTANT BLACK-GRASS  
(*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) – COMPARISON OF GLASSHOUSE AND FIELD TRIAL RESULTS 401  
Wirksamkeit von Flufenacet in der Bekämpfung von resistentem Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) – Vergleich von Ergebnissen aus Gewächshaus- und Feldversuchen  
Hubert J. Menne, Bernd Laber, Dirk Kerlen & Roland Beffa

INFORMATIONSGEWINN AUS HERBIZIDVERSUCHEN - AUSWERTUNG VON  
FELDVERSUCHEN DER BEZIRKSSTELLE HANNOVER AUS DEN JAHREN 2003 – 2009 409  
Gaining extra information from herbicide trials - analysing field trials of the region Hannover  
from 2003 to 2009  
Robert Fritzsche, Eckhard Seemann, Bernhard Werner, Friederike de Mol & Bärbel Gerowitt

**SEKTION 5: NEUE ENTWICKLUNGEN IN DER CHEMISCHEN UNKRAUTKONTROLLE 419**

**SECTION 5: RECENT DEVELOPMENTS IN CHEMICAL WEED CONTROL**

FOLGEWIRKUNG VON GLYPHOSAT-BEHANDLUNGEN AUF NACHGEBaute KULTUREN 419  
Effects of glyphosate application on succeeding crops  
Klaus Gehring, Stefan Thyssen & Thomas Festner

LOW DOSE RESPONSES OF DIFFERENT GLYPHOSATE FORMULATIONS ON PLANTS 427  
Subletale Wirkungen verschiedener Glyphosat-Formulierungen auf Pflanzen  
Regina G. Belz & Claudia Leberle

NEUE PERSPEKTIVEN BEI DER UNKRAUTBEKÄMPFUNG IM WINTERRAPS DURCH DIE EINFÜHRUNG DES  
CLEARFIELD®-SYSTEMS 435  
New perspectives for weed control in winter oilseed rape due to the introduction of the  
Clearfield® system  
Matthias Pfenning, Ron Kehler & Hagen Bremer

BEKÄMPFUNG VON CLEARFIELD®-AUSFALLRAPs IN ZUCKERRÜBEN 443  
Control of volunteer Clearfield® oilseed rape in sugar beet  
Cord Buhre, Hagen Bremer & Erwin Ladewig

SCHADWIRKUNG VON AUSFALLRAPs IN WEIZEN IN ABHÄNGIGKEIT DER UNKRAUTDICHTe 451  
Competitive effects of volunteer oilseed rape in wheat depending on the weed density  
Christoph Krato & Jan Petersen

ERHEBUNGEN ZUM EINSATZ VON GLYPHOSAT IM DEUTSCHEN ACKERBAU 459  
A survey on the use of glyphosate in German arable farming  
Michael Dickeduisberg, Horst-Henning Steinmann & Ludwig Theuvsen

AUSWIRKUNGEN VON AMINOPYRALID-HALTIGEN RINDERMIST AUF DAS WACHSTUM VON KULTURPFLANZEN 463  
Impact of cattle manure containing aminopyralid on crop growth  
Henning Nordmeyer

**SEKTION 6: NEUE HERBIZIDE 469**

**SECTION 6: NEW HERBICIDE PRODUCTS**

POLAR\* (GF-2463) – A NEW CEREAL HERBICIDE COMPRISING FLORASULAM  
AND CLOPYRALID FOR CONTROL OF DICOTYLEDONOUS WEEDS IN SPRING 469  
POLAR\* (GF-2463) – ein neues Getreideherbizid bestehend aus Florasulam und Clopyralid zur  
Bekämpfung zweikeimblättriger Unkräuter im Frühjahr  
Jörg Becker, Dominique Larelle, Imre Erdei & Ullrich Homa

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	477
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	483
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	491
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	499
MON 79351 – EINE NEUE GLYPHOSAT-FLÜSSIGFORMULIERUNG MON 79351 – a novel liquid glyphosate herbicide Björn Kiepe, Holger Ophoff & Wolfgang Voegler	506
KYLEO® - EIN NEUES BREITBANDHERBIZID FÜR DEN EINSATZ AUF DERSTOPPEL Kyleo® - A new broad spectrum herbicide for use on stubbles Jürgen Zink, Tobias Diehl, Guillaume Duchamp, Eric Gibert, Manfred Konradt, Hans Stadler & Heloise Valensuela	514
NOVITRON® - A NEW WIDE-SPECTRUM, PRE-EMERGENT HERBICIDE SOLUTION FOR PEAS, BEANS AND POTATOES BY FMC Novitron® - Eine neue, breitwirksame Voraufauf-Herbizid-Lösung für Erbsen, Bohnen und Kartoffeln von FMC David Hennens, Michel Sarazin, Dugald North & Welf Brandes	520
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	528
GEZIELTE UND FLEXIBLE BEKÄMPFUNG VON PROBLEMUNKRÄUTERN IM WINTERRAPS MIT DEM NACHAUFLAUFHERBIZID 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	536
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	540
TRIAFAMONE (AE 1887196) A NEW RICE HERBICIDE FOR ASIA Triafamone (AE 1887196) ein neues Reis-Herbizid für Asien Christopher Rosinger, Shinichi Shirakura, Erwin Hacker, Yoshitaka Sato, Silke Heibges & Shin Nakamura	544

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, Hans-Georg Mainx & Roland Gerhards	549
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	557
ADDITION® - DAS BREIT WIRKSAME HERBIZID FÜR EIN SINNVOLLES RESISTENZMANAGEMENT ADDITION® – The broad efficient herbicide for a reasonable resistance management Ewald Schenke	563
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	571
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	579
<b>SEKTION 7: KLIMAWANDEL UND NEOPHYTEN</b>	<b>587</b>
<hr/>	
<b>SECTION 7: CLIMATE CHANGE AND NEOPHYTES</b>	
UNTERSUCHUNGEN ZU AUFLAUF UND ETABLIERUNG VON <i>Iva xanthiifolia</i> NUTT. UNTER VERÄNDERTEN UMWELTBEDINGUNGEN IN NORDDEUTSCHLAND Study on emergence and early establishment of <i>Iva xanthiifolia</i> Nutt. under changing climatic conditions in Northern Germany Barbara Edler & Horst-Henning Steinmann	587
PHENOLOGY OF VELVETLEAF ( <i>ABUTILON THEOPHRASTI</i> MEDIC.) POPULATIONS GROWN IN NORTHERN GERMANY Phänologie von Samtpappel ( <i>Abutilon theophrasti</i> Medic.)-Populationen in Norddeutschland Paula R. Westerman, Josefine Diesterheft & Bärbel Gerowitt	595
OCCURRENCE OF HORSE NETTLE ( <i>SOLANUM CAROLINENSE</i> L.) IN NORTH RHINE-WESTPHALIA Auftreten der Carolinschen Pferde Nessel ( <i>Solanum carolinense</i> L.) in Nordrhein-Westfalen Günter Klingenhagen, Martin Wirth, Bernd Wiesmann & Hermann Ahaus	601
ANSÄTZE ZUR INTEGRIERTEN BEKÄMPFUNG DER BEIFUß-AMBROSIE Integrated control of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> Arnd Verschele, Birte Waßmuth & Uwe Starfinger	605
REGIONALE VERSUCHE ZUR CHEMISCHEN BEKÄMPFUNG VON JAKOBS-KREUZKRAUT ( <i>SENECIO JACOBAEA</i> ) Regional trials for the chemical control of common ragwort ( <i>Senecio jacobaea</i> ) Bernhard Werner	615

AKTIONSPROGRAMM AMBROSIA IN DEUTSCHLAND - STATUS QUO UND AUSBLICK The Action Programme Ambrosia in Germany – State of the art and future prospects Uwe Starfinger	623
HALT AMBROSIA - COMPLEX RESEARCH ON THE INVASIVE ALIEN PLANT RAGWEED ( <i>AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA</i> L.) IN EUROPE HALT Ambrosia - umfassendes europäisches Forschungsvorhaben zum invasiven Neophyten Beifuß-Ambrosie ( <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.) Ulrike Sölter, Uwe Starfinger & Arnd Verschwele	627
UNDERSTANDING THE PRESENT DISTRIBUTION OF THE PARASITIC WEED <i>STRIGA HERMONTICA</i> AND PREDICTING ITS POTENTIAL FUTURE GEOGRAPHIC DISTRIBUTION IN THE LIGHT OF CLIMATE CHANGE Die Verbreitung des parasitären Unkrauts <i>Striga hermonthica</i> und Voraussagen zur potentiellen zukünftigen geographischen Verbreitung unter Berücksichtigung des Klimawandels Marc Cotter, Renzoandre de la Pena-Lavander & Joachim Sauerborn	630
<b>SEKTION 8: POPULATIONSDYNAMIK UND BIODIVERSITÄT</b>	<b>637</b>
<hr/>	
<b>SECTION 8: POPULATION DYNAMICS AND BIODIVERSITY</b>	
ZUR ÜBERWINTERUNG VON FLUGHAFER ( <i>AVENA FATUA</i> L.) Overwinter survival of wild oat ( <i>Avena fatua</i> L.) Katrin Rießner, Bodo Hofmann, Lothar Siebert & Olaf Christen	637
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	645
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, Christoph von Redwitz, Martin Schulte & Bärbel Gerowitt	655
EINFLUSS VON STANDORT UND BEWIRTSCHAFTUNG AUF DAS AUFTRETEN VON <i>GERANIUM</i> SPP. IM WINTERRAPS Influence of site and management on the occurrence of <i>Geranium</i> spp. in winter oilseed rape in Germany Kristin Hanzlik, Bärbel Gerowitt & Alfons Schönhammer	663
MÖGLICHKEITEN DER KONTROLLE VON STORCHSCHNABEL-ARTEN ( <i>GERANIUM</i> SPP.) MIT HERBIZIDEN IM ACKERBAU Opportunities of cranesbill ( <i>Geranium</i> spp.) control with herbicides in arable farming Klaus Gehring, Stefan Thyssen & Thomas Festner	671
COMPARISON OF GENETIC DIVERSITY IN TWO ALIEN PLANT SPECIES Vergleich der genetischen Vielfalt von zwei nicht-einheimischen Pflanzenarten Virginija Tunaitienė, Jolanta Patamsytė, Tatjana Čėsniėnė, Violeta Kleizaitė, Donatas Naugžėmys, Vytautas Rėnėelis & Donatas Žvingila	679
THE EFFECT OF DURATION OF SOLARIZATION ON CONTROLLING BRANCHED BROOMRAPE ( <i>PHELIPANCHE RAMOSA</i> L.) AND SOME WEED SPECIES Der Effekt der Solarisationsdauer auf ästigen Sommerwurz ( <i>Phelipanche ramosa</i> L.) und einige andere Unkrautarten Özhan Boz, Mehmet Nedim Doğan & Derya Ögüt	687

SEASONAL VARIATION OF THE SPROUTING ABILITY OF RHIZOME/ROOT BUDS AND CONCENTRATIONS OF STORAGE COMPOUNDS IN <i>CALYSTEGIA SEPIUM</i> (L.) R. BR. AND <i>CONVOLVULUS ARVENSIS</i> L. Jahreszeitliche Veränderung der Austriebsfähigkeit der Rhizom- und Wurzelknospen und der Speicherstoffkonzentrationen von <i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br. und <i>Convolvulus arvensis</i> L. Leonie Willeke, Hansjörg Kraehmer, Roland Gerhards & Wilhelm Claupein	694
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	702
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	708
LANGFRISTIGE VEGETATIONSKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN AUF DAUERBRACHEN EHEMALIGER ACKERSTÄNDE UND AUF SAUMBLOTEN 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, Klaus Arlt & Petra Rischewski	712
EFFECTS OF FACTOR REDUCTION IN ENERGY CROP ROTATIONS ON WEED FLORA Einfluss der Faktorreduktion in Energiefruchtfolgen auf die Beikrautflora Michael Glemnitz, Kathrin Deiglmayr & Franz Heimler	719
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	727

**LIST OF AUTHORS**

**735**



## Einleitende Referate

### Keynote presentation

## Technical demands and political restrictions for weed control

*Unkrautbekämpfung im Spannungsfeld zwischen Anbauproblemen und politischen Rahmenbedingungen*

Hansjoerg Kraehmer\* & Hermann Stuebler

Bayer CropScience AG, Industriepark Hoechst, Building H 872, D-65926 Frankfurt am Main, Germany

\*Corresponding author, hansjoerg.kraehmer@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.001

### Summary

Crop production has become very efficient in developed countries. One factor that has contributed to this success is modern weed control tools. Cropping practices have changed considerably within the last century. Today, spring crops are grown on a much smaller scale in Europe than a hundred years ago. Oats and potatoes are minor crops whereas winter cereals and maize have become the most important crops of European agriculture. This fact combined with a high amount of manure from animal production had a much greater impact on biodiversity than herbicides. Efficient herbicides have been used against a number of weed species such as blackgrass or mayweed in cereals or barnyardgrass and lambsquarters in maize for almost forty years. None of these major weed problems, however, has disappeared. Weed species have physiologically adapted and have become resistant. The application of Council directive 91/414/EEC has resulted in a reduction of production tools for the farmer. With the implementation of regulation EC 1107/2009 it can be expected that the number of active ingredients available to the farmer will be even more decreased. Also, the development of new herbicides will become more difficult for agrochemical companies. Farmers will have less tools to control weeds and will face a drastic increase of resistance problems. In consequence, ploughing and other mechanical tools will become necessary resulting in higher production costs and more economic pressure on farmers.

**Keywords:** Biodiversity, changes in crop husbandry, landscape management, rare weeds, regulation on plant protection products, weed resistance

### Zusammenfassung

Die Nahrungsmittelproduktion in modernen Industrieländern ist heute enorm effizient. Ein Faktor, der dazu maßgeblich beigetragen hat, ist die moderne Unkrautbekämpfung. Die Anbaumethoden haben sich allerdings während der letzten hundert Jahre drastisch geändert. Während vor hundert Jahren Sommerkulturen wie Hafer und Kartoffeln in einem viel größeren Ausmaß angebaut wurden, bestimmen heute Winterweizen, Wintergerste und Mais das Bild unserer Felder. Dieser Umstand und die erheblich gestiegene Menge an organischem Dünger durch eine erhöhte Tierproduktion verändern die Biodiversität auf landwirtschaftlich genutzten Feldern in einem weitaus größeren Ausmaß als z.B. die Anwendung von Herbiziden. Hoch wirksame Herbizide mit unterschiedlichen Wirkmechanismen werden seit nahezu vierzig Jahren gegen Unkräuter wie Ackerfuchsschwanz oder Kamille im Getreide und gegen Hühnerhirse oder Gänsefuß im Mais eingesetzt. Keines dieser Unkräuter ist aber vom Aussterben bedroht. Diese Unkräuter haben sich physiologisch angepasst und sind resistent gegen viele Herbizide geworden. Durch die gestiegenen Anforderungen an moderne Pflanzenschutzmittel wird für die chemische Industrie die Entwicklung neuer Herbizide immer aufwändiger und damit teurer. Die Anwendung der EU-Directive 91/414 hat zu einer deutlichen Reduktion der Produktionsmittel in der Landwirtschaft geführt. Es ist damit zu rechnen, dass die Umsetzung der neuen Richtlinie EC 1107/2009 eine weitere Reduktion von Pflanzenschutzmitteln nach sich zieht. Die Entwicklung neuer Produkte dürfte darüber hinaus schwieriger und teurer werden. Die wenigen verbleibenden Mittel werden häufiger eingesetzt und das Resistenzrisiko steigt. Unkrautresistenz stellt schon heute ein großes Problem für den Landwirt dar. Der Pflugeinsatz und andere mechanische Maßnahmen kommen wieder verstärkt zum Einsatz – mit allen Nachteilen für die Umwelt wie z.B. der Erosion. Die Nahrungsmittelproduktion könnte sich dadurch auch wieder verteuern.

**Stichwörter:** Biodiversität, Kulturpflanzenspektrum, Landschaftspflege, Pflanzenschutzgesetzgebung, seltene Unkräuter, Unkrautresistenz

## 1. Introduction

Crop production has become more efficient than ever. In developed countries, the income related costs for food are at the lowest level since World War II. In Germany, citizens spend 11 % of their expenditures for food today compared with 44 % in 1950 or more than 50 % in the year 1900 (HEMMERLING et al., 2011). Milk has become cheaper than mineral water or coke. A number of factors have contributed to this achievement: Farming equipment and technical tools, education, breeding of high yielding and stress tolerant crop varieties, plant protection tools, free trade and global competition. Science and engineering including chemical and mechanical weed control are improvement factors that are part of this success. They affect crop yields considerably. ZWARGER et al. (2004) have shown that yields without weed control can be reduced by 50 % and more in major crops. This fact and high labor costs are reasons why chemical weed control plays a major role in arable crops nowadays. On a global basis, farmers spent around 17 billion \$ (US) annually for herbicides in 2010 (MarketsandMarkets, Dallas, Sept 26, 2011 and Wallstreet Online). Farming is a business with a high level of global competition. European farmers using conventional weed control tools have to compete with farmers in the US, Brazil and Argentina where GMO crops are grown on more than 100 million hectares (JAMES, 2009 and The Economist, Feb 23<sup>rd</sup>, 2011). Both technologies can be very efficient.

The standard in chemical weed control is very high and has become rather cheap compared with other production factors. Many excellent herbicides are out of patent and are produced by generic companies. Biotechnology is a rather new research area which allows capturing value via seed with new patent-protected technologies. This is why some agrochemical companies invest less in conventional plant protection tools nowadays and more in seed production. This approach could lead to less new and innovative herbicides (KRAEHMER et al., 2007).

## 2. The role of weeds in the landscape and biodiversity

The first two factors determining the spectrum of weeds arising in a field are the planted crop and its management. Crop husbandry has changed over the last hundred years. In consequence, weed spectra have changed also. The most frequent and landscape dominating weeds in European winter cereals today are *Apera spica-venti* and *Galium aparine*, followed by *Alopecurus myosuroides* and *Matricaria* species. *Chenopodium album* and *Echinochloa crus-galli* are dominating in maize, volunteer cereals and *Matricaria* species in oilseed rape.

(see e.g. the EWRS website <http://www.ewrs.org/weedmapping/default.asp>)

**Tab. 1** Cropping areas in Germany between 1935 and 2010 (mio hectares).

**Tab. 1** Anbauumfang einzelner Kulturen in Deutschland zwischen 1935 and 2010 (Mio. Hektar).

	1935 <sup>a</sup>	1950 <sup>b</sup>	1990 <sup>b</sup>	2004 <sup>f</sup>	2010 <sup>g</sup>
Winter wheat	1,1	1,5	2,4	3,1	3,3
Winter barley	0,2	0,9	2,6	1,4	1,3
Spring barley	0,6	0,6	1,0	0,6	0,3
Oats	1,4	1,7	0,4	0,2	0,1
Rye	1,7	2,7	1,1	0,6	0,6
Potatoes	1,2	1,9	0,6 <sup>c</sup>	0,3	0,3
Sugar beet	0,1	0,4	0,6 <sup>d</sup>	0,4	0,4
Oilseed rape	0,02	0,1	0,7 <sup>e</sup>	1,3	1,5
Maize	0,01	0,3	1,4 <sup>b</sup>	1,2	1,8

a) Häfner and Thiede (1956); b) AGRA-EUROPE 1992 and Erntebericht des Bundeslandwirtschaftsministeriums 1992/93; c) Agrarmärkte Jahresheft 2006, Teilauszug Kartoffeln, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft; d) Landwirtschaft in Deutschland.- i.m.a. e.V., Bonn 2005; e) Erzeugung und Verwendung von Raps in Deutschland, ufop 2008; f) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Agrarstrukturhebung 2005, Fachserie 3/Reihe 3.1.2.-Statistisches Bundesamt; g) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Landwirtschaftliche Bodennutzung, Anbau auf dem Ackerland 2010, Fachserie 3 / Reihe 3.1.2.-Statistisches Bundesamt; h) Adapted to Hartmann (2011), including data for the former German Democratic Republic

The agricultural landscape looked completely different fifty years ago. Table 1 shows that spring crops played a much bigger role in the first half of the last century than thereafter. Winter crops cover around 70 % of all arable land today compared to around 50 % until the late fifties of the last century. The acreage for rye was two to three times larger than today. Until the late fifties, oats had an acreage at least ten times larger than in 2010. This had to do with the role of horses as a working tool. Wild oat control in oats was almost impossible. In consequence, it was the dominating grass weed in cereals and in the agricultural landscape as e.g. BACHTHALER (1966) proves. The situation was very comparable in other European countries as e.g. CHURCH et al. (1962) or PHILLIPSON (1974) demonstrated for the UK or as ANDREASEN and STREIBIG published recently for Denmark (2011).

Scientists have tried to classify weed communities according to their germination behaviour as e.g. winter annuals or summer annuals or by habitat (RADOSEVITCH et al., 2007). Plant community research uses key or "character" species to specify plant associations (MUELLER-DOMBOIS and ELLENBERG, 2002). In the end, characteristic weeds are associated with specific crops.

Maize did not play a role in Germany until the end of the last century. Today, it is the second most frequent crop in Germany after winter-wheat. The typical maize flora in northern Europe differs drastically from weed spectra in other crops. This is confirmed by ANDREASEN and STREIBIG (2011) who stress that *Setaria viridis* could establish in Denmark only due to continuous maize cultivation. Cornflower (*Centaurea cyanus*) and poppy (*Papaver rhoeas*) are weeds associated with winter crops such as winter cereals or oilseed rape. One usually does not find them in a maize field despite of looking attractive to those who like aesthetics in agriculture.

Biodiversity is an issue that drives legislation today. Many scientists claim that herbicides have reduced biodiversity and that they are the reason for the extinction of species. Fact is, that agriculture has used different, very efficient herbicides against weeds such as blackgrass or lambsquarters for almost forty years and these weeds are still everywhere. None became extinct. In Canada, the relative frequency of the four to five most frequent weed species of major crops has not changed for the last thirty years (LEESON et al., 2005) despite a complete change of weed control tools: Completely different herbicides and the introduction of herbicide tolerant crops. Many rare plants grow on soils with low nitrogen content (*Adonis*, *Legousia*, ..) where other potential competitors cannot survive. The high amounts of manure in animal production have led to a drastic increase of nitrogen in soils with the effect that these rare plants have more or less disappeared. Sieves in harvesters have changed seedbanks. Dominance and weed-weed competition as described by ALDRICH and KREMER (1997) seem to be often forgotten factors in biodiversity research from my point of view.

The introduction of ornamentals to Europe in the nineteenth century and today's global traffic have increased the number of invasive species on agricultural and non-agricultural land. *Ambrosia artemisiifolia* has become the most frequent weed in many crops in Eastern Europe (e.g. NOVÁK et al., 2009). Many invasive weed species on non-crop land such as *Impatiens grandiflora* or *Fallopia japonica* do not leave room for any other plant species. Environmentalists argue that bees are attracted by *Impatiens grandiflora* and garden owners regard Japanese knotweed as a nice ornamental. It is still possible to buy seeds or rhizomes of many invasive species via the internet while EU legislation tries to stop these invaders wherever possible. The key for future legislation is to clearly define environmental protection goals which consider both the needs of agriculture as well as biodiversity.

Weeds are plants interfering with the interests of farmers. Weed control is important and has clear yield effects without being a major part of agricultural production costs. Almost fifty percent of all global agrochemical turnovers have been herbicide expenditures for decades. This must have a reason. Convenience may be one motive. The major reason is, however, efficiency (e.g. GIANESSI and REIGNER, 2007). Not only do herbicides reduce yield losses due to weed competition and provide the foundation for protection of yield potential, they also help to prevent erosion caused by tillage, having a direct impact on the exploitation of human labour in third world countries used in their stead. Technical tools for weed control are at a very high state of the art. Every weed can be controlled today in any crop.

Weeds have been a burden in biblical times already and they are a nuisance for the farmer still today.

Herbicide reduction programs will not be possible without consequences. They will result in effects that are only recognized in long -programs. PALLUTT et al. (2010) came to the conclusion that the long term changes of reduction programs become visible at least three to five years later. Incomplete weed control e.g. will result in continuous seedbank changes.

Nature is inventive and overcomes human tools for prevention. Weed resistance to herbicides has become a serious issue globally (e.g. VALVERDE (2007) for Latin America, WALSH and POWLES (2007) for Australia, BECKIE (2007) for Canada, NORDMEYER and ZWGER (2010) for Germany or BLAKE (2011) for the UK). Some species seem to be quite successful in escaping modern weed control tools and have even become resistant against several herbicides with different modes of action (e.g. TRANEL et al. (2010) or HAMOUZOVÁ et al. (2011)). The intensive use of glyphosate e.g. (LORENTZ et al., 2011) has unfortunately led to the selection of tolerant or resistant weed species which make the Roundup Ready technology no longer as efficient as it used to be. New technologies such as Liberty and Ignite in herbicide tolerant crops provide valuable tools for the management of resistant weeds.

### 3. Legislation

Concerns over drinking water contamination are one important driver of the plant protection legislation next to e.g. biodiversity and ecotoxicology motives. These concerns are understandable and activities against groundwater contamination became necessary after the overuse of some agrochemicals. Council directive 91/414/EEC reduced the number of available herbicides, however, for different reasons. The factsheet "EU action on pesticides " (2009) states that "of some 1000 active substances on the market in at least one Member State before 1993, 26 %, corresponding to about 250 substances, have passed the harmonized EU safety assessment. The majority of substances (67 %) have been eliminated". Many details of the implementation of regulation EC No 1107/2009 are not known yet. It has to be expected, however, that the registration of agrochemicals will become even more restrictive, time consuming and expensive.

### 4. Consequences

Restrictions based on environmental concerns and the intention to avoid risks will have an impact on food production. The barrier for new weed control tools has become high. Therefore, only a very small number of companies will continue to invest into the discovery and development of new weed control tools (KRAEHMER et al., 2007). Weed resistance problems have achieved a dramatic magnitude and may increase all over the world if no new herbicides with new modes of action will be available within the next decade. Costs for weed control due to resistance have already increased considerably for a number of crops within the last ten years. In soybeans, it is estimated that it now costs \$35 per acre for herbicides above what growers would have spent when they could control weeds with Roundup (BRANDON, 2011). Alternative energy production with maize as a major contributing crop will change our landscape and will have a far greater impact on biodiversity and the environment than all existing cross compliance activities yet. Conventional farming as a low income business (the average agricultural income in Germany was 28 500 € in 2010 according to HEMMERLING et al., 2011) may become less attractive for the young generation in many industrialized countries. In consequence, landscape preservation would become a community task and would not be managed by farmers any more who have until today played a role in landscape management and as providers for sufficient food of our population at the same time.

### References

- ALDRICH, R.J. AND R.J. KREMER, 1997: PRINCIPLES IN WEED MANAGEMENT. IOWA STATE UNIVERSITY PRESS, AMES, IOWA.
- ANDREASEN, G. AND J.P. STREIBIG, 2011: EVALUATION OF CHANGES IN WEED FLORA IN ARABLE FIELDS OF NORDIC COUNTRIES – BASED ON DANISH LONG-TERM SURVEYS. WEED RESEARCH **51**, 214-226.
- ANONYMOUS, 1992: DEUTSCHLAND/EG/"ERNTE, VERSORGUNG, PREISE. AGRA-EUROPE AUGUST 31,1992.
- ANONYMOUS, 2005: LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, FISCHEREI - AGRARSTRUKTURERHEBUNG 2005, FACHSERIE 3 / REIHE 3.1.2.- STATISTISCHES BUNDESAMT.

- ANONYMOUS, 2006: AGRARMÄRKTE JAHRESHEFT 2006, TEILAUZUG KARTOFFELN. BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT.
- ANONYMOUS, 2008: ERZEUGUNG UND VERWENDUNG VON RAPS IN DEUTSCHLAND. UFOP.
- ANONYMOUS, 2011: LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, FISCHEREI – LANDWIRTSCHAFTLICHE BODENNUTZUNG, ANBAU AUF DEM ACKERLAND 2010, FACHSERIE 3 / REIHE 3.1.2.- STATISTISCHES BUNDESAMT.
- BACHTHALER, G., 1966: DER GEGENWÄRTIGE VERBREITUNGSSTAND VON FLUGHAFER (*AVENA FATUA* L.) IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *WEED RESEARCH* **6**, 193-202.
- BECKIE, H.J., 2007: BENEFICIAL MANAGEMENT PRACTICES TO COMBAT HERBICIDE-RESISTANT GRASS WEEDS IN THE NORTHERN GREAT PLAINS. *WEED TECHNOLOGY* **21**, 290-299.
- BLAKE, A., 2011: WEED RESISTANCE UNDER SPOTLIGHT. *FARMERS WEEKLY INTERACTIVE*, MARCH 8.
- BRANDON, H., 2011: HERBICIDE RESISTANT WEEDS COST FARMERS MILLIONS. *DELTA FARM PRESS BLOG* FEB. 25, 2011.
- CHURCH, B.M., C.V.D. DADD, T.E. MILLER AND J.B. PAGE, 1962: HERBICIDE PRACTICE IN ARABLE FARMING DISTRICTS OF EASTERN ENGLAND, 1959-60. *WEED RESEARCH* **2**, 153-164.
- GIANESSI, L.P. AND N. P. REIGNER, 2007: THE VALUE OF HERBICIDES IN U.S. CROP PRODUCTION. *WEED TECHNOLOGY* **21**, 559-566.
- HÄFNER, K. AND G. THIEDE, 1956: STATISTISCHES HANDBUCH ÜBER LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. PAUL PAREY, HAMBURG AND BERLIN.
- HAMILL, A.S., G.A. SURGEONER AND W.P. ROBERTS, 1994: HERBICIDE REDUCTION IN NORTH AMERICA: IN CANADA, AN OPPORTUNITY FOR MOTIVATION AND GROWTH IN WEED MANAGEMENT. *WEED TECHNOLOGY* **8**, 366-371.
- HAMOZOVA, K., J. SOUKUP, M. JURSIK, P. HAMOUZ, V. VENCLOVA AND P. TUMOVA, 2011: CROSS-RESISTANCE TO THREE FREQUENTLY USED SULFONYLUREA HERBICIDES IN POPULATIONS OF *APERA SPICA-VENTI* FROM THE CZECH REPUBLIC. *WEED RESEARCH* **51**, 113-122.
- HARTMANN, G., 2011: SORTENVIELFALT BEI WINTERWEIZEN – KOMMT SIE IN DER LANDWIRTSCHAFT AN? *GETREIDEMAGAZIN* **4**, 52-55.
- HEMMERLING, U., P. PASCHER, S. NASS AND C. LUETGERTBRUNE, 2011: SITUATIONSBERICHT 2011 - TRENDS UND FAKTEN ZUR LANDWIRTSCHAFT. DEUTSCHER BAUERNVERBAND 2011.
- JAMES, C., 2009: GLOBAL STATUS OF COMMERCIALIZED BIOTECH/GM CROPS: 2009. ISAAA BRIEF No. 41. ISAAA: ITHACA, NY.
- KOLL, H., 2005: LANDWIRTSCHAFT IN DEUTSCHLAND. I.M.A. E.V., BONN.
- KRAEHMER, H., A. SCHULZ AND B. LABER, 2007: WHERE ARE THE NEW HERBICIDES MODES OF ACTION? *FARMTECH 2007 – PROCEEDINGS*.
- KUDSK, P. AND J.C. STREIBIG, 2003: HERBICIDES – A TWO-EDGED SWORD. *WEED RESEARCH* **43**, 90-102.
- LEESON, J.Y., A.G. THOMAS, L.M. HALL ET AL., 2005: PRAIRIE WEED SURVEY – CEREAL, OILSEED AND PULSE CROPS 1970S TO 2000S. *AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA*
- LORENTZ, L., R. BEFFA AND H. KRAEHMER: RECOVERY OF PLANTS AND HISTOLOGICAL OBSERVATIONS ON ADVANCED WEED STAGES AFTER GLYPHOSATE TREATMENT. *WEED RESEARCH* **51**, 333-343.
- MUELLER-DOMBOIS, D. AND D.H. ELLENBERG, 2002: AIMS AND METHODS OF VEGETATION ECOLOGY. THE BLACKBURN PRESS, CALDWELL, NEW JERSEY.
- NORDMEYER, H. AND P. ZWERGER, 2010: ERFASSUNG VON HERBIZIDRESISTENZEN BEI UNGRÄSERN IM BIOTEST. *JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN* **62**, 376-382.
- NOVÁK, R., I. DANCZA, L. SZENTÉY AND J. KARAMÁN: ARABLE WEEDS OF HUNGARY. 5TH NATIONAL WEED SURVEY (2007-2008)- MINISTRY OF AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT, BUDAPEST 2009.
- PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER AND E. MOLL, 2010: DAUERFELDVERSUCHE AUF DEM VERSUCHSFELD DAHNSDORF UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER UNKRAUTBEKÄMPFUNG. *JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN* **62**, 238-247.
- PHILLIPSON, A., 1974: SURVEY OF THE PRESENCE OF WILD OAT AND BLACKGRASS IN PARTS OF THE UNITED KINGDOM. *WEED RESEARCH* **14**, 123-135.
- RADOSEVICH, S., J.S. HOLT AND C.M. GHERSA, 2007: ECOLOGY OF WEEDS AND INVASIVE PLANTS – RELATIONSHIP TO AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT. JOHN WILEY & SONS, INC., HOBOKEN, NEW JERSEY.
- TRANEL, P.J., C.W. RIGGINS, M.S. BELL AND A.G. HAGER, 2010: HERBICIDE RESISTANCES IN *AMARANTHUS TUBERCULATUS*: A CALL FOR NEW OPTIONS. *JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY* **59**, 5808-5812.
- VALVERDE, B.E., 2007: STATUS AND MANAGEMENT OF GRASS-WEED HERBICIDE RESISTANCE IN LATIN AMERICA. *WEED TECHNOLOGY* **21**, 310-323.
- WALSH, M.J. AND S.B. POWLES, 2007: MANAGEMENT STRATEGIES FOR HERBICIDE-RESISTANT WEED POPULATIONS IN AUSTRALIAN DRYLAND CROP PRODUCTION SYSTEMS. *WEED TECHNOLOGY* **21**, 332-338.
- ZWERGER, P., H.-P. MALKOMES, H. NORDMEYER, H.-P. SÖCHTING AND A. VERSCHWELE, 2004: UNKRAUTBEKÄMPFUNG: GEGENWART UND ZUKUNFT – AUS DEUTSCHER SICHT.- ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XIX**, 27-38.



## 25 Jahre Sulfonylharnstoff-Herbizide – ein paar Gramm veränderten die Welt der chemischen Unkrautbekämpfung

*25 years of sulfonylurea herbicides – a few grams changed the world of chemical weed control*

Hans G. Drobny<sup>1\*</sup>, Martin Schulte<sup>2</sup> & Harry J. Streck<sup>3</sup>

<sup>1</sup> DuPont de Nemours (Deutschland) GmbH, Hugenottenallee 173-175, D-63263 Neu-Isenburg

<sup>2</sup> Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, D-63477 Maintal

<sup>3</sup> Bayer CropScience GmbH, Industriepark Höchst, H872, D-65926 Frankfurt am Main

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

DOI: 10.5073/jka.2012.434.002

### Zusammenfassung

Mit der Entdeckung der herbiziden Wirkung bestimmter Sulfonylharnstoff-Verbindungen durch George Levitt (1. Patent 1978 für DuPont) und der nachfolgenden Entwicklung und kommerziellen Einführung entsprechender Herbizide (erster in Deutschland erhältlicher Wirkstoff im Jahr 1985 war Metsulfuron-Methyl, GROPPER<sup>®</sup>) erfolgte ein Quantensprung in der chemischen Unkrautbekämpfung. Die im Vergleich zu damaligen kommerziellen Standards um den Faktor 100 bis 1000 drastisch verringerten Aufwandmengen, der völlig neuartige Wirkmechanismus (Hemmung des Enzyms Acetolactatsynthase, ALS), die flexiblen Einsatzmöglichkeiten vom frühen bis zum späten Nachauflauf und die günstigen Anwender- und Umweltsicherheitsprofile dieser Herbizide setzten einen neuen Standard, der bis heute nicht übertroffen wurde. Insgesamt wurden von mehreren Firmen seitdem weltweit über 30 Moleküle aus dieser Chemiekategorie entwickelt und registriert, mit Einsatzmöglichkeiten in praktisch allen Ackerbaukulturen; es folgten noch weitere Verbindungs-klassen mit dem gleichen Wirkungsmechanismus.

Sulfonylharnstoffe werden über Blatt und Wurzel aufgenommen und akropetal und basipetal in der ganzen Pflanze verteilt. Die spezifische Hemmung der Acetolactatsynthase blockiert die Biosynthese der verzweigt-kettigen Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin und damit die Proteinsynthese. Die Kulturselektivität spezifischer Sulfonylharnstoffe in den verschiedenen Ackerbaukulturen beruht auf einem raschen Metabolismus des jeweiligen Wirkstoffs. Der Abbau im Boden kann über mikrobielle und/oder chemische Prozesse erfolgen, wobei die Halbwertszeiten molekül-, boden- und klimaabhängig sind. Durch vieljährige einseitige Selektion entstandene Unkrautpopulationen mit Resistenzen gegen ALS-Hemmer weisen entweder spezifische Punktmutationen am Zielenzym ALS oder einen beschleunigten Metabolismus des Wirkstoffs auf.

Für eine erfolgreiche chemische Unkrautbekämpfung in der gesamten Fruchtfolge sind die Sulfonylharnstoffe im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit anderer herbizider Wirkstoffklassen zu betrachten. Die Zukunft der bestehenden Wirkstoffe und die Aussicht auf weitere grundlegende Neuerungen im Bereich der Herbizide wird von der weiteren Entwicklung der Herbizidresistenztechnologien aus Kulturpflanze und Komplementärherbizid sowie dem Auffinden neuer Wirkungsmechanismen abhängen. Auch der zunehmende Anteil bewährter Altwirkstoffe, die preiswert verfügbar bleiben, beeinflusst über die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung den Aufwand und Erfolg der Suche nach neuen Wirkungsmechanismen.

**Stichwörter:** Acetolactatsynthase, ALS-Hemmer, Herbizidresistenz, Sulfonylharnstoff

### Summary

With the discovery of herbicidal activity of certain sulfonylurea compounds by George Levitt (first patent awarded to DuPont in 1978) and with the subsequent development and commercialization of herbicides from this class (i.e. Metsulfuron-Methyl, GROPPER<sup>®</sup>, first registered as a product in Germany in 1985) a quantum leap in herbicide technology was achieved. The drastically reduced use rates (by a factor of 100- to 1000-fold compared with standard products of the time), the entirely new mechanism of action (inhibition of the ALS enzyme), flexible application (pre- or post-emergent), and the outstanding safety to the applicator and the environment set a new standard for herbicides, which even today has not been superseded. A total of over 30 molecules have been commercialized from this class world-wide, with uses in practically all major row crops. Several additional structural subclasses with the same mode of action have followed. Sulfonylureas enter plants through foliar and soil uptake and are translocated acropetally and basipetally within the plant. The mechanism of action is through the inhibition of the acetolactate synthase enzyme, blocking the synthesis of the branched chain amino acids valine, leucine and isoleucine, and thus inhibiting protein synthesis. Selectivity is achieved through the rapid metabolism of the active substance to inactive metabolites within the crop before it can act. Sulfonylureas degrade in soils mainly through microbial action or through chemical hydrolysis; degradation

rates and pathways are specific to the molecule, soil and climate. Selection of resistant individuals through continuous application of sulfonyleurea herbicides over many years led to the development of resistant weed populations that possess specific point mutations in the ALS enzyme, or the ability to rapidly metabolize the active ingredient.

The sulfonyleureas must be compared with other important classes of herbicides as components of a sustainable weed management system within various crop rotations. The future of existing herbicide classes and the prospects for future basic advances in weed management technologies depend on the further development of technologies to counter herbicide resistance (crops and complementary herbicides), and the discovery of herbicides with novel modes of action.

**Keywords:** Acetolactate synthase, ALS inhibitor, herbicide resistance, sulfonyleurea

## 1. Historischer Überblick

Mitte der 1970er Jahre forschte George Levitt, ein Synthesechemiker bei DuPont, über mögliche herbizide Eigenschaften von Sulfonylharnstoff-Verbindungen. Diese Verbindungsklasse war damals bereits für pharmazeutische Anwendungen bei Diabetes bekannt. Für die neu entdeckten herbiziden Eigenschaften spezifischer Molekülstrukturen wurde 1978 das erste Patent (US) erteilt. Weltweit als erste Produkte registriert und im Markt eingeführt wurden 1982 Chlorsulfuron im Getreide und Sulfometuron-Methyl auf Nichtkulturland und Forst. Die extrem hohe Versatilität der Sulfonylharnstoff-Verbindungsklasse, mit tausenden möglicher Molekülstrukturen mit herbiziden Eigenschaften, führte nachfolgend zur Erforschung und Anmeldung hunderter weiterer Patente bis heute, davon allein 250 Patente für DuPont. Weitere aktiv tätige Firmen waren u. a. Ciba-Geigy, Hoechst, Ishihara, Nissan und Monsanto. Neben weiteren Molekülen mit Selektivität in Getreide, wie Metsulfuron-Methyl (erstes in Deutschland eingeführtes Molekül; DROBNY, 1984), Tribenuron-Methyl, Triasulfuron, Iodosulfuron, Amidosulfuron u. a. (Tab. 2) folgten ebenso Verbindungen mit Selektivitäten in anderen Kulturen: U. a. Chlorimuron-Ethyl in Sojabohnen 1986, Bensulfuron-Methyl in Reis 1987, Ethametsulfuron-Methyl in Raps 1989, Rimsulfuron und Nicosulfuron in Mais 1991, Rimsulfuron in Kartoffeln, Thifensulfuron-Methyl in Grünland (DROBNY et al., 2008b), Flazasulfuron in Obst und Wein und Triflursulfuron-Methyl in Rüben 1995. In Getreide wurden weitere selektive Wirkstoffe mit herbizider Aktivität gegen Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und andere Gräser entdeckt und entwickelt: Flupyrsulfuron-Methyl-Na, Sulfosulfuron und Mesosulfuron-Methyl. Damit gibt es Sulfonylharnstoffe mit Selektivität in praktisch allen wichtigen Ackerbaukulturen, wirksam gegen nahezu alle wirtschaftlich bedeutsamen Unkräuter. In 1990 beendete DuPont die weitere Forschung in diesem Bereich, nach 13 in die Entwicklung überführten Wirkstoffen. George Levitt erhielt 1993 für seine grundlegenden Entdeckungen die „National Medal of Technology“ vom US-amerikanischen Präsidenten überreicht. Neben den Sulfonylharnstoffen wurden nachfolgend weitere Verbindungsklassen entdeckt, die den gleichen spezifischen Wirkmechanismus, die Hemmung des Enzyms Acetolactat-Synthase (ALS) besitzen:

- Imidazolinone: Eingeführt durch American Cyanamid (jetzt BASF) 1986, vornehmlich in Soja und Mais in USA. Nur Imazamox ist bisher in der EU zugelassen.
- Triazolopyrimidine: Eingeführt durch Dow Agro Science 1993, vornehmlicher Einsatz in Getreide (u. a. Metosulam, Florasulam und Pyroxulam).
- Sulfonylamino-Carbonyl-Triazolone: Eingeführt durch Bayer CropScience im Getreide (u. a. Propxycarbazone-Na)
- Pyrimidinyl(thio)benzoate: Eingeführt durch Kumiai 1995, Einsatz vorwiegend in Baumwolle und Reis. In Europa kaum bedeutsam.

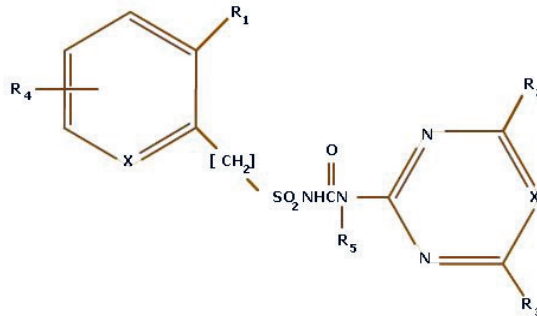
Insgesamt sind bislang weltweit 31 Sulfonylharnstoff-Verbindungen als Herbizide registriert und 19 weitere Verbindungen anderer chemischer Gruppen mit dem Wirkmechanismus als ALS-Hemmer. Auf dem Markt in Deutschland befinden sich zudem verschiedene Fertigmischungen von sich ergänzenden Wirkstoffen, teils auch Mischungen mit Wirkstoffen anderer Wirkungsmechanismen.



## 2. Eigenschaften von Sulfonylharnstoff-Herbiziden

### 2.1 Chemisch-physikalische Eigenschaften

Die grundlegende Struktur eines Sulfonylharnstoff-Herbizids ist in Abbildung 1 dargestellt. Ein phenolischer und ein heterozyklischer Ring sind über eine (namensgebende) Sulfonylharnstoffbrücke verbunden.



**Abb. 1** Allgemeine Struktur der Sulfonylharnstoff-Herbizide.

**Fig. 1** General structure of sulfonylurea herbicides.

Sulfonylharnstoffe sind schwache Säuren und schwanken zwischen einer negativ geladenen und neutralen Form, deren Verhältnis abhängig vom pH-Wert der Lösung ist (BROWN, 1990). Der  $pK_a$  ist der pH-Wert, bei dem 50 % der Moleküle negativ geladen (anionisch) und 50 % nicht geladen (neutral) sind. Die Art und die Kombination der Ringatome und der Ringsubstituenten bestimmen die Aktivität, Selektivität und Persistenz des jeweiligen Moleküls.

Die physikalische Form der Sulfonylharnstoffe ist bei Zimmertemperatur ein Feststoff (meist kristallin) mit hohem Schmelzpunkt und extrem niedrigem Dampfdruck. Dadurch bieten sich trockene Formulierungstypen an. Die meisten kommerziellen Sulfonylharnstoff-Herbizide sind entsprechend als wasserdispergierbare Granulate formuliert.

Die Wasserlöslichkeit und die hydrolytische Stabilität der Sulfonylharnstoffe sind stark pH-abhängig; sie sind bei den meisten Molekülen deutlich erhöht im alkalischen Bereich. Diese Eigenschaft ermöglichte, in Verbindung mit einem alkalischen Puffer, die Entwicklung von wasserlöslichen Granulaten. Neuere Ansätze sind wasserlösliche extrudierte Granulate, auch als homogene Mischungen („Blends“) mehrerer einzeln formulierter Wirkstoffe (DROBANY, 2006). Flüssige Formulierungen auf Wasserbasis sind wegen hydrolytischer Instabilität der meisten Sulfonylharnstoff-Moleküle nicht möglich, jedoch völlig wasserfreie Dispersionen auf Öl-Basis („OD“).

Aufgrund des niedrigen Dampfdrucks ist ein Wirkstoffaustrag bei der Anwendung über die Dampfphase in dieser Wirkstoffgruppe ausgeschlossen.

### 2.2 Biologische Eigenschaften und Wirksamkeit

Das hervorstechende Merkmal der Sulfonylharnstoffe bei deren Einführung waren die im Vergleich zu bis dahin bekannten Herbiziden extrem niedrigen Aufwandmengen von 3 – 60 g Wirkstoff je ha, die damit um einen Faktor 100 bis 1000 geringer lagen. Dieses Niveau ist bis heute noch nicht übertroffen und erklärt sich neben der hohen intrinsischen Aktivität mit einer effizienten Wirkstoffaufnahme und -verlagerung in die meristematischen Pflanzengewebe. Der Wirkungsmechanismus beruht auf der spezifischen Hemmung der Acetolactat-Synthase (ALS, auch: Actohydroxysäure-Synthase, AHAS), wodurch die Synthese der essentiellen verzweigt-kettigen Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin unterbunden wird, und damit die Proteinsynthese verhindert wird. Menschliche und tierische Zellen enthalten dieses Ziel-Enzym nicht, was die sehr niedrige Warmblüter-Toxizität dieser Wirkstoffgruppe zur Folge hat. Das phänologische Erscheinungsbild behandelter sensibler

Pflanzen ist ein rascher Wachstumsstillstand innerhalb weniger Stunden, nach einigen Tagen teils gefolgt von Vergilbungen oder leichten Rotfärbungen (artspezifisch – nicht generell typisch!), der Nekrotisierung der Wachstumsspitzen und dem endgültigen Absterben nach einigen Wochen. Die Nährstoffkonkurrenz zur Kultur endet nach wenigen Stunden.

Die Aufnahme der Sulfonylharnstoffe erfolgt sowohl über das Blatt als auch über die Wurzeln behandelter Pflanzen. Das relative Verhältnis der Aufnahmewege ist abhängig vom jeweiligen Wirkstoff und den jeweiligen Einsatzbedingungen, wie Bodenfeuchte, Temperatur, Dicke der Wachsschicht. Einige Sulfonylharnstoffe benötigen zur optimalen Blattaufnahme und damit Wirksamkeit den Zusatz von Netzmitteln. Bewährt haben sich hierbei nicht-ionische Tenside. Extrembeispiele der Aufnahme sind Thifensulfuron-Methyl (fast nur über das Blatt) und Imazosulfuron (fast nur über Wurzel). Die Verteilung in der Pflanze erfolgt sowohl akropetal wie basipetal, was für die hohe Wirkungssicherheit mitverantwortlich ist.

Die Selektivität von Sulfonylharnstoffen in den Ziel-Kulturen bzw. auch den nicht-sensitiven Unkräutern beruht prinzipiell auf der Fähigkeit dieser Pflanzen, den aufgenommenen Wirkstoff rasch zu inaktiven Metaboliten umzuwandeln; in wenigen Fällen, z. B. Trifloxysulfuron, trägt auch eine geringe Blattaufnahme zur Kulturverträglichkeit bei. Die Bindung an das Zielenzym (ALS) dieser Pflanzen ist dabei nicht beeinträchtigt. Die Halbwertszeiten zum Abbau in den Zellen der hochselektiven Arten liegen bei 1-2 Stunden, in denen der sensitiven Arten über 24 Stunden. Dazwischen liegen alle Bereiche verringerter Wirkungsgrade bzw. unzureichender Selektivität in Abhängigkeit von der Aufwandmenge des jeweiligen Wirkstoffs. Die häufigsten für die Metabolisierung verantwortlichen Enzym-Komplexe sind P450-Mono-Oxygenasen und Gluthathion-Konjugasen. Der primäre Abbaumechanismus ist abhängig vom Molekül und der Pflanzenart: Das gleiche Molekül kann von verschiedenen Pflanzenarten auf unterschiedlichen Wegen, verschiedene Moleküle können aber auch über die gleichen Stoffwechselwege abgebaut werden. Bei einigen Molekülen war es möglich, durch die Zugabe spezifischer „Safener“ die Selektivität in einzelnen Getreidearten oder in Mais zu erhöhen. Diese Safener bewirken einen erhöhten Metabolismus in den entsprechenden Kulturen. Beispiele sind Mefenpyr-Diethyl bei Mesosulfuron-Methyl und Iodosulfuron-Methyl in Weizen und Roggen sowie Isoxadifen-Ethyl bei Foramsulfuron in Mais.

Im Vergleich zu anderen herbiziden Wirkstoffklassen, deren Aktivitäts- und Selektivitätsspektren innerhalb der Gruppe meist stark überlappen (z. B. synthetische Auxine, Triazine, ACCase-Hemmer), gibt es bei Sulfonylharnstoffen (SUs) sehr spezifische Spektren; einige Beispiele:

- Rüben sind hoch empfindlich gegen praktisch alle Sulfonylharnstoffe – Triflursulfuron-Methyl ist selektiv, dabei mit ähnlichem Wirkungsspektrum gegen dikotyle Unkräuter wie andere SUs.
- Kreuziferen einschließlich Raps sind meist empfindlich gegen SUs; Ethametsulfuron-Methyl ist selektiv in Raps, aber wirksam gegen alle Kreuziferen Unkräuter.
- Nicosulfuron und Rimsulfuron sind selektiv in Mais, mit ähnlichem Wirkungsspektrum gegen Gräser und Dikotyle. Rimsulfuron ist zusätzlich selektiv in Kartoffeln. In Mais werden die beiden Moleküle über verschiedene Mechanismen abgebaut.
- Die gräseraktiven SUs im Getreide sind alle selektiv in Weizen und Roggen, weniger oder nicht in Wintergerste und Hafer. Flupyrsulfuron-Methyl ist selektiv in Hafer. Die Wirkungsspektren gegen die einzelnen Ungräser sind sehr unterschiedlich.

### **2.3 Verhalten in der Umwelt**

Die Mehrzahl der Sulfonylharnstoffe lassen sich im Boden über hydrolytische und mikrobiologische Mechanismen abbauen. Die relative Bedeutung dieser beiden Abbaumechanismen für die einzelnen Wirkstoffe ist von den Bodeneigenschaften und den klimatischen Einflüssen auf den Boden abhängig, d. h. der Temperatur und Feuchtigkeit (BROWN, 1990). In alkalischen Böden ist auf Grund des dort beschränkten hydrolytischen Abbaus meist der mikrobiologische Abbau bedeutender; in sauren Böden hat der hydrolytische Abbau eine größere Bedeutung (STREK, 2005). Bodentemperatur und -feuchtigkeit müssen in einem breiten optimalen Bereich liegen, um einen schnellen mikrobiologischen Abbau zu fördern. Da der hydrolytische Abbau ein chemischer Prozess ist, ist die

Abbaugeschwindigkeit umso schneller, je höher die Bodentemperatur ist. Kalte Bodentemperaturen schränken beide Abbaumechanismen ein. Viele Sulfonylharnstoffe zeigen rasche Hydrolyse unter sauren Bedingungen, aber dieses Verhalten ist wirkstoffspezifisch (STREK, 2005). Einige Sulfonylharnstoffe können auch durch indirekte Photolyse abbauen, aber dieses ist relativ betrachtet kein wesentlicher Abbauweg. Bei Trockenheit ist der mikrobiologische Abbau eingeschränkt.

Sulfonylharnstoffe werden auf Grund ihrer niedrigen Sorptionswerte als im Boden sehr löslich eingestuft. Die  $K_{oc}$ -Werte sind im Allgemeinen relativ niedrig (Tab. 1), und das Verhalten in Laborversuchen in Bodensäulen bestätigt dieses Bild. Feldversuche jedoch deuten auf ein anderes Verhalten. Sie zeigten über die vielen verschiedenen Standorte, dass über die 18-monatige Versuchsdauer die höchste Wirkstoffkonzentration sich grundsätzlich in den obersten Bodenschichten nachweisen ließ (STREK, 1998a+b; STREK, 2005).

### 3. Management von Sulfonylharnstoff-Herbiziden

#### 3.1 Nachbau

Nachbau war bei Sulfonylharnstoffen von Anfang an ein Thema von hoher Bedeutung (BROWN, 1990). Der Vergleich der entsprechenden  $DT_{50}$ -Werte mit anderen Herbizid-Gruppen zeigt jedoch, dass diese nicht grundlegend unterschiedlich sind (Tab. 1). Im konkreten Fall spielen drei Faktoren für den Nachbau eine sehr bedeutende Rolle: Die Abbaugeschwindigkeit des aktives Wirkstoffes unter den örtlichen Bodenbedingungen, die relative Empfindlichkeit der Nachbaukultur gegen diesen Wirkstoff und das Zeitintervall zwischen Applikation und Nachbau (STREK, 2005). Die teils hohe intrinsische Aktivität bzw. die hohe Sensitivität einzelner Kulturarten gegenüber bestimmten Wirkstoffen bedingen, dass das relative Abbauniveau im Vergleich zu anderen Wirkstoffklassen sehr viel höher sein muss, um empfindliche Nachfolgekulturen nicht negativ zu beeinträchtigen. Einige relativ empfindliche Kulturarten, z. B. Zuckerrüben bei Metsulfuron-Methyl, können bis auf eine Bodenkonzentration von 0,1 ppb negativ reagieren (OBRIGAWITCH et al., 1998). Für solche Extremkonstellationen müssen deshalb 99 % des Wirkstoffes abgebaut werden, entsprechend 6-7 Halbwertszeiten, um die Nachbau-Kultur problemlos anbauen zu können. Mögliche Einschränkungen sind in den Gebrauchsanweisungen der Produkte aufgeführt. Praktische Probleme können bei einer Akkumulation mehrerer Risikofaktoren auftreten, wie eine sehr späte Anwendung im Frühjahr durch langen Winter (d. h. Verkürzung des Abbauintervalls), extreme Trockenheit nach Applikation (d. h. starke Reduzierung des mikrobiellen Abbaus) und die relativ hohe intrinsische Sensitivität von einigen Kulturpflanzen wie Raps gegenüber bestimmten Wirkstoffen. Dies war in weiten Teilen Deutschlands in 2003 der Fall.

**Tab. 1** Ausgewählte Bodenabbau- und Adsorptions-Eigenschaften von Herbizidwirkstoffen zur Unkraut- und Ungrasbekämpfung in konventionellen Getreidesorten.

**Tab.1** *Selected soil degradation and adsorption properties of herbicidal active ingredients for grass and weed control in conventional small grain cereals varieties.*

Wirkstoff	Chemieklasse	$K_{oc}$	$DT_{50}$ Hydrolyse (Tage, pH 7)	$DT_{50}$ Labor (Tage)	$DT_{50}$ Feld (Tage)
Clodinafop	Aryloxyphenoxy-propionat ('FOP')	1466 <sup>b</sup>	Stabil	12	21
Fenoxaprop-P-Ethyl	Aryloxyphenoxy-propionat ('FOP')	11354	23.2	0.4	0.3
Pinoxaden	Phenylpyrazolin ('DEN')	349 <sup>b</sup>	14.9	0.5	0.6
Tralkoxydim	Cyclohexandion ('DIM')	120	140	2.6	1.9
Metsulfuron	Sulfonylharnstoff	39,5	Stabil	26	10
Thifensulfuron	Sulfonylharnstoff	28	180	4	10
Triasulfuron	Sulfonylharnstoff	16	Stabil	55	19
Tribenuron	Sulfonylharnstoff	31	16	14	10
Amidosulfuron	Sulfonylharnstoff	36	Stabil	16.6	-

Wirkstoff	Chemieklasse	K <sub>OC</sub>	DT <sub>50</sub> Hydrolyse (Tage, pH 7)	DT <sub>50</sub> Labor (Tage)	DT <sub>50</sub> Feld (Tage)
Imazosulfuron	Sulfonylharnstoff	3	-	48	56
Flupyr-sulfuron	Sulfonylharnstoff	28	12	15	8
Sulfosulfuron	Sulfonylharnstoff	33	168	53	24
Iodosulfuron	Sulfonylharnstoff	45	Stabil	2	8
Mesosulfuron	Sulfonylharnstoff	92	253	45	78
Propoxycarbazone <sup>c</sup>	Sulfonylaminocarbonyltriazolinon	28.8	Stabil	61	23
Florasulam	Triazolopyrimidin	28.5 <sup>b</sup>	Stabil	1.6	8.5
Pyroxulam	Triazolopyrimidin	30	Stabil	3	13
Penoxulam	Triazolopyrimidin	73.2	Stabil	32	5.9
Pyrasulfotole	Pyrazolon	368	Stabil	55	42-16
Prosulfocarb	Thiocarbat	1693 <sup>b</sup>	Stabil	12.4	9.8
Flufenacet	Oxyacetamid	202	Stabil	32	40
2,4-D	Phenoxycarbonsäure	56	Stabil	14	10
MCPA	Phenoxycarbonsäure	74 <sup>b</sup>	Stabil	24	25
Dichlorprop(-P)	Phenoxycarbonsäure	44	Stabil	14	19
MCPP(-P)	Phenoxycarbonsäure	31 <sup>b</sup>	Stabil	6.8	21
Dicamba	Benzoesäure	12	Stabil	4.2	3.9
Clopyralid	Pyridincarbonsäure	5	Stabil	34	11
Fluroxypyr	Pyridincarbonsäure	195 <sup>b</sup>	Stabil	1	3
Diflufenican	Nicotinanilid	1996 <sup>b</sup>	Stabil	142	315
Flurtamone	Furanon	329 <sup>b</sup>	Stabil	130	56
Picolinafen	Pyridincarbonsäure	28300	Stabil	7.5	30
Bromoxynil	Nitril	302	Stabil	1	8
Ioxynil	Nitril	303 <sup>b</sup>	Stabil	2	5
Bentazon	Benzothiadiazinon	55.3	Stabil	45	14
Isoproturon	Phenylharnstoff	122 <sup>b</sup>	Stabil	12	23
Chlortoluron	Phenylharnstoff	196	Stabil	59	34
Pendimethalin	Dinitroanilin	17581	Stabil	123	90
Bifenox	Diphenylether	6475 <sup>b</sup>	Stabil	8.3	17.3
Carfentrazone <sup>d</sup>	Triazolinon	866	13.7	1	0.5

Quelle: The Pesticide Properties Database (<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/en/index.htm>).

- = nicht berichtet; <sup>a</sup> Werte berichtet für Clodinafop-Propargyl; <sup>b</sup> K<sub>OC</sub>-Wert berichtet; <sup>c</sup> Werte berichtet für Propoxycarbazone-Natrium; <sup>d</sup> Werte berichtet für Carfentrazone-Ethyl

### 3.2 Resistenzen

Sulfonylharnstoffe mit ihrem hochspezifischen Wirkmechanismus als Hemmer des Enzyms ALS sind aufgrund der Frequenz entsprechender Punktmutationen des Zielenzym in nativen Unkrautpopulationen grundsätzlich resistenzgefährdend. HRAC stuft die Resistenzgefährdung bei ALS-Hemmern als „hoch“ ein.

Erste Unkrautpopulationen mit nachgewiesener Resistenz gegen ALS-Inhibitoren wurden 1988 aus Canada und 1991 aus Europa (Dänemark) bei *Stellaria media* berichtet (SAARI et al., 1994). Weltweit sind bislang über 100 verschiedene Populationen von Unkräutern/gräsern mit Resistenz gegen ALS-Hemmer analysiert und dokumentiert (HEAP, 2011).

Da herbizidresistente Unkrautpopulationen zuerst schlagspezifisch auftreten, ist es möglich, die jeweilige Historie des betroffenen Schlags zu erfassen. In allen uns bekannten Fällen waren zuerst grundlegende ackerbauliche Maßnahmen erfolgt, die zur starken Förderung der Dichte bestimmter Unkräuter/gräser führten, wie einseitige Fruchtfolge (meist Monokultur), reduzierte Bodenbearbeitung und frühe Saattermine. Dazu oder anschließend wurden ausschließlich ALS-Hemmer über mehrere Jahre zur Bekämpfung dieser Arten eingesetzt. So ergab eine genauere Analyse des von Resistenz bei *Stellaria media* betroffenen Schlags in Dänemark eine zuletzt 7-jährige Monokultur von Sommergerste, wobei jedes Jahr ausschließlich Sulfonylharnstoffe zur Unkrautbekämpfung eingesetzt wurden. Durch die Auflockerung der Fruchtfolgen mit Wintergetreide und Mais und den zusätzlichen Einsatz von Herbiziden mit alternativen Wirkmechanismen sind Herbizidresistenzen mittlerweile in Dänemark praktisch kontrolliert. In Deutschland trat die erste beschriebene Unkrautpopulation mit ALS-Wirkort-Resistenz, *Matricaria recutita*, erst 2007 auf einzelnen Schlägen in Schleswig-Holstein auf (DROBNY et al., 2008a). Auch hier zeigte sich eine vieljährige Historie von Herbizidanwendungen, über die ein einseitiger Selektionsdruck auf die Kamille durch Sulfonylharnstoffe erfolgt war.

Die molekulare Analyse des ALS-Proteins von resistenten Populationen ergab, dass immer die gleichen Aminosäuren verändert waren: Alanin 122, Prolin 197, Alanin 205, Tryptophan 574 oder Serin 653. Je nach Art der Substitution dieser Aminosäuren ergeben sich verschiedene Muster der Resistenzen gegenüber den verschiedenen Klassen von ALS-Hemmern. Die Analyse der o. a. *M. recutita*-Population zeigte eine bislang nicht bekannte Mutation von Prolin 197 zu Threonin, die wohl spezifisch gegen Sulfonylharnstoffe wirksam ist. Bei Mutationen zu Leucin oder Isoleucin wären auch die Triazolopyrimidine von Resistenz betroffen. Bei *Apera spica-venti* wurde mit Arginin 377 eine weitere Mutationsstelle entdeckt (MASSA et al., 2011).

Neben diesen „klassischen“ Wirkort-Resistenzen können Sulfonylharnstoffe auch von metabolischen Resistenzmechanismen betroffen sein, vor allem bei Ungräsern. Daran beteiligt sind die gleichen enzymatischen Systeme, welche die entsprechenden Kulturselektivitäten bewirken, d. h. P450-Monooxygenasen und Glutathion-Transferasen. Ungraspopulationen mit entsprechend erhöhter Aktivität dieser Enzyme wurden durch mehrjährigen einseitigen Herbizid-Einsatz gegen Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) selektiert, meist in Wintergetreide-Monokulturen.

Dieser Resistenzmechanismus ist quantitativ, d. h., die Wirkungsgrade auf die gesamte Population nehmen zunehmend ab, aber es können gleichzeitig mehrere Wirkstoffklassen betroffen sein. Bei *A. myosuroides* traten die entsprechenden Resistenzen in der historischen Abfolge der eingesetzten Herbizide auf: Zuerst substituierte Harnstoffe (Isoproturon, Chlortoluron), gefolgt von ACCase-Hemmern („FOP's“). Bei der anschließenden Einführung der ersten ALS-Hemmer gegen *A. myosuroides* ab 1997 (Flupyrsulfuron-Methyl und Propoxycarbazone-Na) zeigte sich, dass diese Populationen mit ihren vorab selektierten metabolischen Fähigkeiten auch diese neuen Moleküle, mit anderem Wirkmechanismus und von zwei unterschiedlichen chemischen Klassen, effektiv genug abbauen konnten. Der später eingeführte Sulfonylharnstoff Mesosulfuron-Methyl wiederum war zunächst wirksam, was auf unterschiedliche Abbauewege hindeutet. Betroffen in Deutschland sind intensive Ackerbaugebiete mit vieljähriger Wintergetreide-Monokultur, auf schweren Böden, mit reduzierter Bodenbearbeitung (pfluglos), wie z.B. in den norddeutschen Marschgebieten sowie einigen Inseln wie das Hohenlohe (DROBNY und CLAUDE, 2004). HRAC (2011) verweist darauf, dass bei metabolischen Mechanismen der Wirkmechanismus nicht entscheidend ist, sondern die Abbaumechanismen. Da es hierfür keine Klassifizierung gibt, muss jeder Fall einzeln betrachtet werden (DROBNY et al., 2006). Mittlerweile wurden auch in Deutschland Populationen von *A. myosuroides* mit multiplen Resistenzen selektiert: Metabolische Resistenzen gegen die o. a. Wirkstoffklassen, auch Mesosulfuron-Methyl, kombiniert mit Wirkort-Resistenzen gegen ACCase-Hemmer und ALS-Hemmer. Diese Entwicklung ist in England bereits weiter fortgeschritten.

Ein weiteres bedeutendes resistenzgefährdetes Ungras ist der Windhalm (*Apera spica-venti*). In den Jahren 2007-2009 wurde ein Monitoring-Programm hierzu durchgeführt, das Deutschland, Polen, die Tschechische Republik und umliegende Länder umfasste. Es wurden Populationen sowohl mit

Wirkort-Resistenz als auch mit metabolischer Resistenz gegen ALS-Hemmer ermittelt (MASSA und GERHARDS, 2011; GERHARDS und MASSA, 2011). Auch hier zeigt sich deutlich die Reihenfolge der auftretenden Resistenzen gemäß der gegen Windhalm eingesetzten Wirkstoffe in anderer historischer Abfolge: Zuerst substituierte Harnstoffe, gefolgt von ALS-Hemmern und neuerdings auch ACCase-Hemmern.

#### 4. Sulfonylharnstoffe in der "Welt der Herbizide"

Am Beispiel der in Mitteleuropa vom Anbauumfang bedeutsamsten Ackerbaukulturen, der Flächenkultur Getreide und der Reihenkultur Mais, ist in den Tabellen 2 und 3 vergleichend die Stellung von Sulfonylharnstoffen innerhalb der weltweit zur Verfügung stehenden Herbizidwirkstoffe aufgeführt.

Sulfonylharnstoffe und zunehmend auch weitere ALS-Hemmer anderer chemischer Klassen nehmen unter den in Getreide gebräuchlichen Herbiziden einen bedeutenden Anteil ein, nicht nur zur Unkraut-, sondern auch zur Ungrasbekämpfung (Tab. 2). Sie haben teilweise ältere Wirkstoffe mit ungünstigeren ökotoxikologischen Eigenschaften oder eingeschränktem Wirkungsspektrum verdrängt. Erstmals konnten mit Sulfonylharnstoffen in Getreide auch Arten erfasst werden, die sich bis dahin nur in anderen Fruchtfolgegliedern oder nach der Getreideernte chemisch oder mechanisch bekämpfen ließen.

Auch in Mais vollzog sich während der letzten zehn Jahre trotz einer beachtlichen Vielfalt an Wirkstoffen und Wirkungsmechanismen ein ähnlicher Wandel (Tab. 3): Sulfonylharnstoffe verbannten insbesondere in der Ungrasbekämpfung ältere Wirkstoffe mit unvergleichlich höherem Aufwand (z. B. EPTC oder Atrazin zur Queckenbekämpfung), ermöglichten aber auch erstmals die kulturselektive Bekämpfung einjähriger und ausdauernder Ungräser und Unkräuter im Nachauflauf. In Mitteleuropa verschob sich nach dem Verbot des Atrazineinsatzes ab 1991 der Anwendungszeitraum der chemischen Unkrautbekämpfung in Mais vom Vor- zum überwiegenden Nachauflauf. Nur die einjährigen panicoiden Ungräser (Hirsens) lassen sich seither im Nachauflauf kulturselektiv in Mais außer mit Sulfonylharnstoffen auch mit jüngeren Wirkstoffen vom Typ der HPPD-Hemmer bekämpfen. Residualwirkstoffen zur Hirse-Bekämpfung kommt in Mais nun vorwiegend die Rolle der Erfassung einer weiteren Auflaufwelle nach Einfachapplikation von Tank- oder Fertigmischungen im Nachauflauf zu.

**Tab. 2** Gebräuchliche kulturselektive Herbizidwirkstoffe zur Unkraut- und Ungrasbekämpfung in konventionellen Getreidesorten.

**Tab. 2** *Common crop-selective herbicidal active ingredients for grass and weed control in conventional small grain cereals varieties.*

Wirkstoff	Erstpublikation	Chemieklasse	Wirkungsmechanismus nach HRAC	Zielflora
Clodinafop	1989	Aryloxyphenoxypropionat ('FOP')	Lipidbiosynthese-Hemmer A	Ungräser
Fenoxaprop-P-ethyl	1989	Aryloxyphenoxypropionat ('FOP')	Lipidbiosynthese-Hemmer A	Ungräser
Pinoxaden	2004	Phenylpyrazolin ('DEN')	Lipidbiosynthese-Hemmer A	Ungräser
Tralkoxydim	1987	Cyclohexandion ('DIM')	Lipidbiosynthese-Hemmer A	Ungräser
Metsulfuron	1983	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Thifensulfuron	1985	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Triasulfuron	1985	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Tribenuron	1985	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Amidosulfuron	1988	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Imazosulfuron	1994	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter

<b>Wirkstoff</b>	<b>Erstpubli- kation</b>	<b>Chemieklasse</b>	<b>Wirkungsmechanismus nach HRAC</b>	<b>Zielflora</b>
Flupyrsulfuron	1995	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Ungräser, Unkräuter
Sulfosulfuron	1995	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Ungräser, Unkräuter
Iodosulfuron	1999	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Ungräser, Unkräuter
Mesosulfuron	2001	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Ungräser
Propoxy- carbazon	1999	Sulfonylaminocarbonyl- triazolinon	ALS-Hemmer B	Ungräser
Florasulam	1996	Triazolopyrimidin	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Pyroxulam	1998	Triazolopyrimidin	ALS-Hemmer B	Unkräuter, Ungräser
Penoxsulam	2003	Triazolopyrimidin	ALS-Hemmer B	Unkräuter, Ungräser
Pyrasulfotol	2006	Pyrazolon	4-HPPD-Hemmer F2	Unkräuter
Prosulfocarb	1987	Thiocarbamat	Lipidbiosynthese- Hemmer N	Ungräser
Flufenacet	1995	Oxyacetamid	Zellteilungshemmer K	Ungräser
2,4-D	1942	Phenoxycarbonsäure	Auxin O	Unkräuter
MCPA	1945	Phenoxycarbonsäure	Auxin O	Unkräuter
Dichlorprop(- P)	1952	Phenoxycarbonsäure	Auxin O	Unkräuter
MCPP(-P)	1956	Phenoxycarbonsäure	Auxin O	Unkräuter
Dicamba	1961	Benzoesäure	Auxin O	Unkräuter
Clopyralid	1975	Pyridincarbonsäure	Auxin O	Unkräuter
Fluroxypyr	1983	Pyridincarbonsäure	Auxin O	Unkräuter
Diflufenican	1985	Nicotinanilid	Phytoendesaturase- Hemmer F1	Ungräser, Unkräuter
Flurtamone	1987	Furanon	Phytoendesaturase- Hemmer F1	Ungräser, Unkräuter
Beflubutamid	1999	Amid	Phytoendesaturase- Hemmer F1	Ungräser, Unkräuter
Picolinafen	1999	Pyridincarbonsäure	Phytoendesaturase- Hemmer F1	Unkräuter
Bromoxynil	1963	Nitril	PS-II-Hemmer C3, Entkoppler M	Unkräuter
loxynil	1963	Nitril	PS-II-Hemmer C3, Entkoppler M	Unkräuter
Bentazon	1968	Benzothiadiazinon	PS-II-Hemmer C3	Unkräuter
Isoproturon	1968	Phenylharnstoff	PS-II-Hemmer C2	Ungräser, Unkräuter
Chlortoluron	1969	Phenylharnstoff	PS-II-Hemmer C2	Ungräser, Unkräuter
Pendimethalin	1974	Dinitroanilin	Zellteilungshemmer K1	Unkräuter, Ungräser
Bifenox	1973	Diphenylether	PPO-Hemmer E	Unkräuter
Carfentrazone	1993	Triazolinon	PPO-Hemmer E	Unkräuter

**Tab. 3** Gebräuchliche kulturselektive Herbizidwirkstoffe zur Unkraut- und Ungrasbekämpfung in konventionellen Maissorten (ohne Wirkstoffe für ausschließliche Unterblattapplikation).

**Tab.3** *Common crop-selective herbicidal active ingredients for grass and weed control in conventional maize varieties (without active ingredients for post-directed application only).*

Wirkstoff	Erstpublikation	Chemieklasse	Wirkungsmechanismus nach HRAC	Zielflora
Acetochlor	1971	Chloracetamid	Zellteilungshemmer K3	Ungräser, Unkräuter
(S-)Metolachlor	1973	Chloracetamid	Zellteilungshemmer K3	Ungräser, Unkräuter
Dimethenamid(-P)	1988	Chloracetamid	Zellteilungshemmer K3	Ungräser, Unkräuter
Flufenacet	1995	Oxyacetamid	Zellteilungshemmer K3	Ungräser, Unkräuter
Pethoxamid	2000	Chloracetamid	Zellteilungshemmer K3	Ungräser, Unkräuter
Pyroxasulfon <sup>2)</sup>	2005	Pyrazolon	Zellteilungshemmer K3	Ungräser, Unkräuter
Pendimethalin	1974	Dinitroanilin	Zellteilungshemmer K1	Unkräuter, Ungräser
Thifensulfuron	1985	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Nicosulfuron	1987	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Ungräser, Unkräuter
Primisulfuron	1987	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	<i>Sorghum halepense</i> , Unkräuter
Rimsulfuron	1989	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Ungräser, Unkräuter
Halosulfuron	1991	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter, <i>Cyperus</i>
Prosulfuron	1992	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Iodosulfuron	1999	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Tritosulfuron	2002 <sup>3)</sup>	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Foramsulfuron	2000	Sulfonylharnstoff	ALS-Hemmer B	Ungräser, Unkräuter
Flumetsulam	1991	Triazolo-Pyrimidin	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Metosulam	1992	Triazolo-Pyrimidin	ALS-Hemmer B	Unkräuter
Thiencarbazone	2008	Sulfonylamino-carbonyl-triazolinon	ALS-Hemmer B	Unkräuter, Ungräser
Imazapyr <sup>1)</sup>	1983	Imidazolinon	ALS-Hemmer B	Unkräuter, Ungräser
Imazethapyr <sup>1)</sup>	1984	Imidazolinon	ALS-Hemmer B	Unkräuter, Ungräser
Imazamox <sup>1)</sup>	1991	Imidazolinon	ALS-Hemmer B	Unkräuter, Ungräser
Dicamba	1961	Benzoesäure	Auxin O	Unkräuter
2,4-D	1942	Phenoxycarbonsäure	Auxin O	Unkräuter
Clopyralid	1975	Pyridincarbonsäure	Auxin O	Unkräuter
Fluroxypyr	1983	Pyridincarbonsäure	Auxin O	Unkräuter
Simazin	1956	Triazin	PS-II-Hemmer C1	Unkräuter, Ungräser
Atrazin	1957	Triazin	PS-II-Hemmer C1	Unkräuter, Ungräser
Cyanazin	1966	Triazin	PS-II-Hemmer C1	Unkräuter, Ungräser
Terbuthylazin	1966	Triazin	PS-II-Hemmer C1	Unkräuter, Ungräser
Bromoxynil	1963	Nitril	PS-II-Hemmer C3, Entkoppler M	Unkräuter
Bentazon	1968	Benzothiadiazinon	PS-II-Hemmer C3	Unkräuter
Pyridate	1976	Pyridazin	PS-II-Hemmer C3	Unkräuter
Sulcotrione	1991	Triketon	4-HPPD-Hemmer F2	Unkräuter
Isoxaflutol	1995	Isoxazol	4-HPPD-Hemmer F2	Unkräuter, Ungräser
Mesotrione	1999	Triketon	4-HPPD-Hemmer F2	Unkräuter, Ungräser
Topramezone	2006	Pyrazolon	4-HPPD-Hemmer F2	Unkräuter, Ungräser
Tembotrione	2007	Triketon	4-HPPD-Hemmer F2	Unkräuter, Ungräser
Bicyclopyrone	2009 <sup>2)</sup>	Triketon	4-HPPD-Hemmer F2	Unkräuter, Ungräser

1) nur in komplementären konventionell herbizidresistenten Maissorten; 2) noch keine Markteinführung;

3) Anwendung in Mais



## 5. Ausblick

Sulfonylharnstoffe haben die chemische Unkrautbekämpfung in allen großen Ackerbaukulturen (Getreide, Mais, Soja, Baumwolle, Reis, Zuckerrohr, Zuckerrüben, Raps) vereinfacht und zum Teil erst die kulturselektive Bekämpfung schwieriger Arten im Nachauflauf möglich gemacht. Aus Tabelle 2 und 3 wird ersichtlich, dass der erste Vertreter des zuletzt entdeckten Herbizid-Wirkungsmechanismus, die Hemmung der 4-Hydroxyphenylpyruvatdehydrogenase, mit dem Wirkstoff Sulcotrione bereits im Jahr 1991 erstmals vorgestellt wurde. Seither ist zwar eine nicht geringe Zahl neuer Wirkstoffe mit bekannten Wirkungsmechanismen, jedoch kein neuer herbizider Wirkungsmechanismus mehr entdeckt worden. Auch die jüngsten neuen Wirkstoffe in Mais nehmen keine Sonderstellung hinsichtlich ihres Wirkungsmechanismus ein (Tab. 3). Nahe liegend, aber nicht unbedingt Erfolg versprechend, ist daher auch der Ruf an die forschende Industrie nach einer kontinuierlich weiter betriebenen Wirkstoffsuche, mit einer Konzentration auf neue Wirkungsmechanismen.

Außerhalb Europas erschweren Marktgegebenheiten, die transgene Herbizidresistenzsysteme mit den Komplementärherbiziden Glyphosat oder Glufosinat begünstigen, die Entwicklung von Unkrautbekämpfungslösungen mit neuartigen Wirkstoffen (SCHULTE, 2005). Neben den hohen Kosten, die künftig nur in ausreichend großen Märkten und damit Neuentwicklungen in nur wenigen großen Ackerbaukulturen rechtfertigen, erlauben aber auch regulatorische Hürden zusehends weniger Einführungen neuer Wirkstoffe. In den Tabellen 2 und 3 sind unter anderem auch Wirkstoffe aufgeführt, denen in Europa bisher aus solchen Gründen eine Einführung versagt blieb.

Vor diesem Hintergrund müssen Herbizidresistenzsysteme aus transgener oder konventionell resistenter Kultur und Komplementärherbizid als Ausweg aus der immer schwieriger und kostenintensiver werdenden Suche nach neuen Unkrautbekämpfungslösungen gesehen werden, nicht nur in den großen ackerbaulichen Kulturen, sondern auch und vor allem in "kleinen" Kulturen, deren Marktgröße zu gering ist, um eine Neuentwicklung selektiver Herbizidwirkstoffe zu rechtfertigen. Ohne die bekannten auf transgenen Sorten beruhenden Herbizidresistenzsysteme wird aber die Bedeutung von Sulfonylharnstoffen und anderen ALS-Hemmern in der chemischen Unkrautbekämpfung in Europa bis auf Weiteres noch zunehmen. Gründe dafür sind:

- Alternativlösungen zu ALS-Hemmern fehlen nach Setzen neuer Kulturverträglichkeits- und Wirksamkeits-Standards durch Anwendung von ALS-Hemmern im Nachauflauf.
- Alte Wirkstoffe fallen zunehmend wegen unüberwindlicher Hürden einer Wiedertzulassung weg.
- Mit konventionell gezüchteten Herbizidresistenzsystemen auf Basis von Imidazolinon-Herbiziden in verschiedenen Kulturen, sowie Tribenuron-M in Sonnenblumen, halten weitere ALS-Hemmer in Kulturen Einzug, in denen sie bisher in Europa nicht vertreten waren.
- Das Auslaufen von Patenten und der Kostendruck auf die Anwender fördern den verstärkten Einsatz preiswerter ALS-Hemmer forschender und generischer Anbieter.
- Herbizidresistenzsysteme auf Basis von Breitbandwirkstoffen benötigen zur Vermeidung von Unkrautresistenzen einen weiteren nicht-kreuzresistenten Wirkungsmechanismus. ALS-Hemmer eignen sich gut dazu. Maislinien mit zwei Resistenzen, darunter eine Sulfonylharnstoffresistenz, sind bereits in den USA zugelassen.
- Neuartige Safener könnten den Einsatz von Sulfonylharnstoffen in Kulturen erlauben, in denen bisher keine ausreichend selektiven Vertreter dieser Wirkstoffklasse verfügbar waren.

Ende 2010 waren in Deutschland im Getreide elf Sulfonylharnstoffe und vier andere ALS-Hemmer als Wirkstoffe in verschiedenen Produkten zugelassen. Sulfonylharnstoffhaltige Herbizide wurden in der Saison 2010 in Deutschland auf über 20 % der behandelten Getreideanbaufläche zur Unkrautbekämpfung eingesetzt. Der über den Betrachtungszeitraum 2000 bis 2010 stetig zunehmende Einsatz-Umfang und der gleichbleibend hohe Anteil (über 30 %) der mit Sulfonylharnstoffen/ALS-Hemmern behandelten Anbaufläche belegen die Vorzüglichkeit der geschilderten Produkt-Eigenschaften (Tab. 4).

**Tab. 4** Einsatz von ALS-Hemmern in Getreide in Deutschland während der letzten 11 Jahre (Quellen: KLEFFMANN GROUP<sup>1</sup> und eigene Berechnungen).**Tab. 4** Use of ALS-inhibitors in cereals in Germany over the last 10 years.

	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Anzahl Wirkstoffe SU + andere ALS-Hemmer <sup>1</sup>	7+1	8+2	9+2	11+2	11+2	11+4
Getreide-Anbaufläche behandelt [Mill. ha SDV*]	12,340	11,674	11,826	12,096	13,706	12,115
davon mit Sulfonylharnstoffen behandelt <sup>1</sup> [%]**	15,5 %	16,6 %	21 %	24 %	26 %	20,7 %
davon mit anderen ALS-Inhibitoren behandelt [%]**	1,1 %	3,6 %	5,9 %	7,1 %	7,5 %	10,4 %
insgesamt mit ALS- Inhibitoren behandelt [%]**	16,6 %	20,2 %	26,9 %	31,1 %	33,5 %	31,1 %

Angaben in „SDV“ ha, jeweils für das Kalenderjahr (Herbst- und Frühjahrseinsatz), Winter- und Sommergetreide.

\*SDV (*super developed area*): Nettofläche x Anzahl Behandlungen x Anzahl der Produkte im Tank

\*\* Anteil der Wirkstoffgruppe an der SDV-Fläche

Das Risiko der Ausbildung von Unkrautresistenzen gegen ALS-Hemmer ist aufgrund von Punktmutationen des Zielenzym vergleichsweise hoch. Wegen der zunehmenden Einsatzhäufigkeit von ALS-Hemmern nehmen auch in Europa Funde gegen ALS-Hemmer resistenter Unkräuter zu. Maßnahmen zur Resistenzvermeidung enthalten den Einsatz von Herbiziden mit anderen Wirkungsmechanismen. Das Fehlen neuer Wirkungsmechanismen in der chemischen Unkrautbekämpfung und das Verschwinden alter Wirkstoffe erschweren jedoch die praktikable Umsetzung dieser Forderung. Einziger Ausweg aus diesem Dilemma auf absehbare Zeit erscheint ein vorbeugendes Resistenzmanagement, bei dem Sulfonylharnstoffe oder andere ALS-Hemmer grundsätzlich vorsorglich mit Wirkstoffen anderer Mechanismen kombiniert oder in Sequenzen verfolgt werden, deren Wirkungsspektrum sich weitestgehend überschneidet. Im Falle der Triazine und Triazinone in Mais, Rüben und Kartoffeln hat sich diese Vorgehensweise seit über drei Jahrzehnten bewährt und den Wert der von dieser Resistenz betroffenen Wirkstoffe für die chemische Unkrautbekämpfung unverändert erhalten. Wenn alle im Markt beteiligten Teilnehmer den Grundsätzen des Resistenzmanagements konsequent folgen, könnten Sulfonylharnstoffe weiterhin ohne unvermeidbare Einbußen der Wirksamkeit ihre Stellung in der Unkrautbekämpfung in allen Kulturen, in denen sie vertreten sind, behalten.

## Danksagung

Wir bedanken uns bei all unseren Kolleginnen und Kollegen, die maßgeblich an der Entdeckung und Entwicklung dieser einzigartigen Wirkstoffklasse beteiligt waren. Viele davon genießen mittlerweile ihren wohlverdienten Ruhestand.

## Literatur

- BROWN, H.M., 1990: MODE OF ACTION, CROP SELECTIVITY, AND SOIL RELATIONS OF THE SULFONYLUREA HERBICIDES. PESTICIDE SCIENCE **29**, 263-281.
- DROBNY, H.G., 1984: DPX-T6376 – EIN NEUES HERBIZID FÜR DEN GETREIDEBAU. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT X**, 305-309.
- DROBNY, H.G., 2006: SX® - DIE NEUE UND INNOVATIVE FORMULIERUNGSTECHNOLOGIE FÜR SULFONYLHARNSTOFFE UND HOMOGENE GRANULATMISCHUNGEN (BLENDS) VON DUPONT. MITT. BIOL. BUNDESANST. LAND- FORSTWIRTSCH. **400**, 373-374.
- DROBNY, H.G. UND J.-P. CLAUDE, 2004: ERGEBNISSE EINES ZWEIJÄHRIGEN MONITORING-PROGRAMMS ZUR RESISTENZ VON ACKERFUCHSSCHWANZ GEGENÜBER VERSCHIEDENEN HERBIZIDEN IN DEUTSCHLAND. MITT. BIOL. BUNDESANST. LAND- FORSTWIRTSCH. **396**, 208-209.

- DROBNY, H.G., M. SALAS UND J.-P. CLAUDE, 2006: MANAGEMENT OF METABOLIC RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) POPULATIONS IN GERMANY – CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 65-72.
- DROBNY, H.G., J. PEREZ, M. FEIERLER, F.G. FELSENSTEIN, J.R. GERTZ, C. SCHLEICH-SAIDFAR UND N. BALGHEIM, 2008A: AUF TRETEN 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.
- DROBNY, H.G., D. SKOETSCH UND H. WESTERMAIR, 2008B: HARMONY® SX: DIE VERBESSERTE LÖSUNG FÜR DIE SELEKTIVE UND NACHHALTIGE BEKÄMPFUNG VON AMPFER-ARTEN (*RUMEX* SPP.) IN GRÜNLAND UND IN ACKERBAUKULTUREN. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 617-622.
- GERHARDS, R. UND D. MASSA, 2011: TWO-YEAR INVESTIGATIONS ON HERBICIDE-RESISTANT SILKY BENT GRASS (*APER A SPICA-VENTI* (L.) BEAUV.) POPULATIONS IN WINTER WHEAT. GESUNDE PFLANZEN **63**, 75-82.
- HEAP, I., 2011: INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. (AVAILABLE [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG/](http://www.weedscience.org/); LAST ACCESSED OCTOBER 12, 2011).
- HRAC 2011. HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE. (AVAILABLE [HTTP://WWW.HRACGLOBAL.COM/](http://www.hracglobal.com/); LAST ACCESSED OCTOBER 12, 2011).
- MASSA, D. UND R. GERHARDS, 2011: INVESTIGATIONS ON HERBICIDE RESISTANCE IN EUROPEAN SILKY BENT GRASS (*APER A SPICA-VENTI*) POPULATIONS. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **118**, 31-39.
- MASSA, D., B. KRENZ UND R. GERHARDS, 2011: TARGET-SITE RESISTANCE TO ALS-INHIBITING HERBICIDES IN *APER A SPICA-VENTI* POPULATIONS IS CONFERRED BY DOCUMENTED AND PREVIOUSLY UNKNOWN MUTATIONS. WEED RESEARCH **51**, 294-303.
- OBRIGAWITCH, T.T., G. COOK AND J. WETHERINGTON, 1998: ASSESSMENT OF EFFECTS ON NON-TARGET PLANTS FROM SULFONYLUREA HERBICIDES USING FIELD APPROACHES. PESTICIDE SCIENCE **52**, 199-217.
- SAARI L.L., J.C. COTTERMANN AND D.C. THILL, 1994: RESISTANCE TO ACETOLACTATE SYNTHASE INHIBITING HERBICIDES. IN: POWLES S.B. UND J.A.M. HOLTUM (EDS.). HERBICIDE RESISTANCE IN PLANTS, PP. 83-139, LEWIS PUBLISHERS.
- SCHULTE, M., 2005: TRANSGENE HERBIZIDRESISTENTE KULTUREN. RÜCKBLICKE UND AUSBLICKE NACH 8 JAHREN INTERNATIONALER ANBAUPRAXIS. GESUNDE PFLANZEN **57**, 37-46.
- STREK, H.J., 1998A: FATE OF CHLORSULFURON IN THE ENVIRONMENT. 1. LABORATORY EVALUATIONS. PESTICIDE SCIENCE **53**, 29-51.
- STREK, H.J., 1998B: FATE OF CHLORSULFURON IN THE ENVIRONMENT. 2. FIELD EVALUATIONS. PESTICIDE SCIENCE **53**, 52-70.
- STREK, H.J., 2005: THE SCIENCE OF DUPONT'S SOIL RESIDUAL HERBICIDES IN CANADA. IN R.C. VAN ACKER, (ED.): SOIL RESIDUAL HERBICIDES: SCIENCE AND MANAGEMENT. TOPICS IN CANADIAN WEED SCIENCE, VOLUME **3**, 31-44. SAINTE-ANNE-DE BELLEVUE, QUEBEC. CANADIAN WEED SCIENCE SOCIETY - SOCIETE CANADIENNE DE MALHERBOLOGIE.

### Weiterführende Literatur

- HAY, J. V., 1990: CHEMISTRY OF SULFONYLUREA HERBICIDES. PESTICIDE SCIENCE **29**, 247-261.
- KOEPPE, M. K. UND H. M. BROWN, 1995: SULFONYLUREA HERBICIDE PLANT METABOLISM AND CROP SELECTIVITY. AGRO-FOOD-INDUSTRY HI-TECH **11/12**, 9-14.
- SCHLOSS, J. V., 1990: ACETOLACTATE SYNTHASE, MECHANISMS OF ACTION AND ITS HERBICIDE BINDING SITE. PESTICIDE SCIENCE **29**, 283-292.
- SNEL, M., 1989: POST-EMERGENCE HERBICIDES FOR BROAD-LEAVED WEED CONTROL IN CEREALS. CHEMISTRY AND INDUSTRY, 172-177.

® EINGETRAGENES WARENZEICHEN VON DUPONT



## Wie könnte der Klimawandel das Zusammenspiel von Unkräutern und Feldfrüchten verändern?

*How might climate change alter the interactions between weeds and crops?*

Kristian Peters\* & Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät – Phytomedizin, Satower Str. 48, D-18059 Rostock

\*Korrespondierender Autor, kristian.peters@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.003

### Zusammenfassung

Der Klimawandel führt zu vielschichtigen Veränderungen im Agrarökosystem und verändert das Zusammenspiel von Unkräutern und Kulturpflanzen. Unkräuter reagieren individuell auf die Veränderungen. Durch Zu- und Abnahmen, dem Verschwinden und Neuauftreten von Unkrautarten, sowie Veränderungen von Merkmalen und Konkurrenzbeziehungen ergeben sich Umschichtungen im Unkrautartenspektrum, den Abundanzen einzelner Arten und veränderte Schädwirkungen. Doch auch agrarische Reaktionen auf den Klimawandel und Landnutzungswandel beeinflussen dieses Zusammenspiel. Aus den unterschiedlichen Zusammenhängen ergeben sich verschiedene Handlungsmöglichkeiten.

**Stichwörter:** Feldfrüchte, Klimawandel, Unkräuter, Verschiebungen, Wechselwirkung, Zusammenspiel

### Summary

Climate change will affect the agricultural ecosystem on different levels. It also alters interactions of weeds and crops. Each weed reacts on an individual basis to changes. Weeds can show an increase or decrease in abundance, can invade new areas or can completely vanish. They also can change traits to be more competitive. Overall, this will result in a different abundance and composition of weeds, as well as a different damaging potential. Land-use changes and agricultural adoption strategies to climate change will have dramatic influence on the interactions as well. Based on these interactions, there will be various options for dealing with climate change.

**Keywords:** Climate change, crops, interactions, shifts, weeds

## 1. Einleitung

Klimawandel wird zu komplexen Veränderungen in Agrarökosystemen führen und das Gefüge von Klima, Pflanze und Landnutzung stark verändern. Bislang gibt es nur wenige Untersuchungen, die die Zusammenhänge von Klima, Unkräutern und agrarischen Anpassungsaspekten zugleich behandeln. Das liegt sicherlich auch daran, dass es schwierig ist, Landnutzungswandel und agrarische Anpassungen im Klimawandel vorherzusagen, da diese u. a. auch politischen Entscheidungen unterliegen. Bisher wenig beachtete indirekte Auswirkungen eines Klimawandels und Rückkopplungseffekte agrarischer Anpassungen haben einen nicht minder großen Einfluss auf die Unkrautartenzusammensetzung im Agrarökosystem. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie das Zusammenspiel von Unkräutern und Feldfrüchten von sich ändernden Klimabedingungen beeinflusst werden könnte.

## 2. Klimawandel

### 2.1 Prognosen für Deutschland

Dass Klima sich wandelt, ist ein Phänomen, das unseren Planeten mit seinen Pflanzen- und Tierarten immer geprägt hat. Veränderungen treten dabei nie abrupt auf, sondern es sind dynamische Prozesse. Da Klimadaten eine natürliche Streuung aufweisen, sind längerfristige Beobachtungen erforderlich um Trends zu erkennen und abzusichern. Anhand verschiedener Parameter, die u.a. aus den Reaktionen der Vegetation ermittelt werden (z. B. der immer früher auftretende Zeitpunkt der Apfelblüte, siehe MENZEL et al. (2003)) lassen sich diese Trends inzwischen deutlich erkennen. Klimamodelle werden genutzt, um aus gemessenen Trends Prognosen abzuleiten (IPCC, 2010). Dabei entstehen, je nach Zukunftsannahmen, vor allem für die Beeinflussung des Wandels durch

menschliche Aktivitäten, verschiedene Szenarien.

Auswirkungen des Klimawandels äußern sich u. a. in veränderten Temperaturregimen. Für Deutschland wird für das Jahr 2100 ein Temperaturanstieg von ca. 2 °C für die Sommermonate und etwa 2,5 °C für die Wintermonate prognostiziert (basierend auf dem A1B-Szenario des IPCC, siehe dazu IPCC (2010)). Während die Sommer i. d. R. auch trockener werden, berechnen die Vorhersagemodelle eine Zunahme der Niederschläge während der Wintermonate in Deutschland.

Mit dem Klimawandel wird zudem eine Zunahme der Wetterextreme einhergehen (JENTSCH et al., 2009) – sowohl in Anzahl als auch Intensität. Extreme Wetterereignisse wie Stürme, Überflutungen, extreme kurze Hitze- oder Kälteperioden stellen eine zusätzliche, weitgehend unkalkulierbare Gefahr für die Kulturpflanzenbestände dar.

## **2.2 Landnutzungswandel durch Klimawandel**

Dem dynamischen Klimawandel passt sich die Landnutzung natürlich ebenso dynamisch an. Saat- und Erntetermine verschieben sich bei höheren Temperaturen im Herbst und Frühjahr zunächst leicht: Frühjahrssaaten werden immer früher durchgeführt, da auch das Risiko von Spätfrösten sinkt. Herbstsaaten können wegen geringerer Gefahr von Frösten dagegen später im Jahr erfolgen. Ausgeprägte Frühjahrs- oder Frühsommertrockenheiten sprechen für vorgezogene Saattermine, damit die Feldfrüchte die Winterniederschläge vorher bestmöglich nutzen können. Durch das Aufgreifen dieser Prozesse entwickeln Pflanzenzüchter parallel dazu neue angepasste Sorten, die weitere Verschiebungen ermöglichen. Im Zentrum stehen hierbei Kälte- und Trockenheitstoleranz – Beispiele sind die Entwicklungen bei Mais und Zuckerrüben. Aber auch das Vernalisationsbedürfnis und die Reaktion auf Veränderungen der Tageslängen sind in Grenzen züchterisch zu beeinflussen – Beispiel ist z.B. Wechselweizen. Hinzu können ganz neue Arten kommen, deren Anbau durch das Zusammenspiel von züchterischer Anpassung und Klimawandel möglich wird – Beispiel ist der Anbau von Sojabohnen oder Kulturhirsen in Deutschland.

Der Klimawandel wird aber nicht nur die Sortenwahl, Saat- und Erntetermine beeinflussen, sondern auch die Herbizidapplikation. Trockene und warme Bedingungen werden stets blattaktive Wirkstoffe begünstigen. Höhere Niederschläge und weniger klassische Vegetationsruhe im Winter können trotzdem die Notwendigkeit, Bodenherbizide einzusetzen, ansteigen lassen. Gravierend kann der Herbizideinsatz auch mögliche Fruchtfolgen beeinflussen. Herbizide mit einer gewissen Persistenz können bei spätem Einsatz und frühen Ernteterminen Nachbauprobleme verursachen, insbesondere wenn nicht gepflegt wird um Bodenfeuchte zu konservieren. Die Pflanzenschutzmittelzulassung wird hierauf langfristig sicher reagieren, sodass auch Änderungen im verfügbaren Wirkungsspektrum zu erwarten sind.

Des Weiteren können Feldfrüchte auch durch politische Programme im Bereich Klimaschutz oder Klimawandel gefördert werden. Ein prägnantes Beispiel ist die massive Ausweitung des Maisanbaus durch die Subventionierung der Energieerzeugung in Biogasanlagen. Eintretenswahrscheinlichkeiten und Auswirkungen solcher Prozesse auf die Landnutzung sind schwer zu prognostizieren. Das Zusammenspiel von Unkräutern und Feldfrüchten im Klimawandel beeinflussen sie nichtsdestotrotz stark.

Die hier nur kurz angerissenen Anpassungen der agrarischen Nutzung von Ackerstandorten werden auch die Unkräuter massiv beeinflussen, deren Zusammensetzung verändern und Einfluss auf ihre Merkmale ausüben.

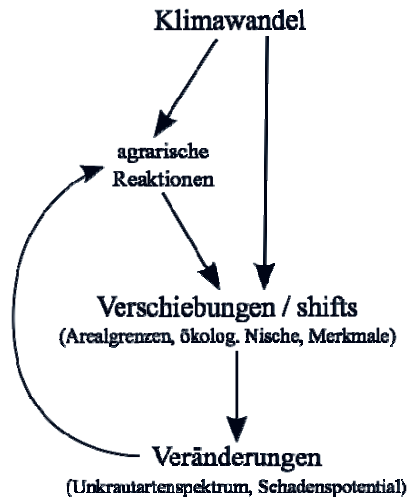
## **3. Unkräuter im Klima- und Landnutzungswandel**

### **3.1 Reaktionsmöglichkeiten**

Einige Unkrautarten besitzen eine breite ökologische Amplitude hinsichtlich der Umweltbedingungen und sind fähig, die neuen Klimabedingungen zu ertragen. Einige wenige Arten werden sich den neuen Bedingungen sogar adaptiv anpassen können. Die meisten Arten dagegen sind nicht in der Lage, sich den schnell verändernden Bedingungen anzupassen und daher

gezwungen, in einem gewissen, für sie typischen, Klimahorizont mit zu wandern. Arten, die dies nicht vermögen, laufen Gefahr auszusterben. Generell können Pflanzenarten die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels also nur ertragen, sich ihnen anpassen oder sie vermeiden.

Der Klimawandel führt zu Verschiebungen, aus denen dann spürbare Veränderungen resultieren (s. Abb. 1), einige wichtige werden im Folgenden beschrieben. Verschiebungen (*shifts*) sind Prozesse, die vom Klimawandel an der Vegetation hervorgerufen werden und sich mit Zunahme zielgerichtet verstärken. Wir haben drei wichtige Verschiebungsebenen im Agrarökosystem identifiziert. Generell unterscheiden wir geografische (sog. *range shifts*), ökologische (sog. *niche shifts*) und arttypische (sog. *trait shifts*) Verschiebungsprozesse. Treten diese im Agrarökosystem auf, so führen sie zu Veränderungen in dem agrarisch relevanten Zusammenspiel der Arten auf dem Acker. Weil Ackerbau auch voraussetzt, das Unkrautauftreten in irgendeiner Weise zu begrenzen, kommt es zu Rückkoppelungseffekten mit den agrarischen Reaktionen in der Landnutzung.



**Abb. 1** Ebenen von Unkraut-Verschiebungen ausgelöst durch den Klimawandel.

**Fig. 1:** *Different levels of climate-mediated weed shifts*

### 3.2 Ebenen für Verschiebungen durch Klimaeinflüsse

#### 3.2.1 Verschiebung von Arealgrenzen

Momentan drängen Wärme-angepasste, südlich verbreitete Arten weiter nordwärts. Sie verlagern ihr Verbreitungsareal mit dem Klimawandel und wandern mit einem für sie akzeptablem Klimahorizont. Diesen Mechanismus fasst man unter dem Begriff *range shift* zusammen (WALTHER et al., 2002). Er beschreibt hauptsächlich geografische Verlagerungserscheinungen der Arten.

So ist z. B. in Winterraps zur Zeit eine Zunahme von Storchschnabel-Arten zu verzeichnen. Im Süden Deutschlands ist *Geranium dissectum* (Schlitzblättriger Storchschnabel) bereits verbreitet, während im Norden *Geranium pusillum* (Kleiner Storchschnabel) häufiger in Raps-Kulturen auftritt (GOERKE et al., 2008)<sup>1</sup>. Im Zuge der Erwärmung ist anzunehmen, dass *G. dissectum* weiter nördlich wandert und *G. pusillum* mehr oder weniger in den dortigen Rapskulturen ersetzt.

In den letzten Jahren sind beginnende Verschiebungen im Mais besonders auffällig. Hier nehmen v. a. die Unkrauthirsens zu. Sie profitieren aber auch vom allgemein zunehmenden großflächigen

<sup>1</sup> Die in diesem Artikel verwendete botanische Nomenklatur richtet sich nach WISSKIRCHEN und HAUPLER (1998). Sie ist u. a. im Internet unter [www.floraweb.de](http://www.floraweb.de) abrufbar.

Maisanbau, ihrer nahen Verwandtschaft zu Mais, der einseitigen Herbizidapplikation, Maisdaueranbau oder sehr engen Fruchtfolgen. *Echinochloa crus-galli* (Gewöhnliche Hühnerhirse), verschiedene *Setaria*- und *Digitaria*-Arten (Borsten- und Fingerhirsen), sowie *Sorghum halepense* (Wilde Mohrenhirse) gehören zu den Profiteuren.

Derzeit wandern für Deutschland bisher für Äcker unbekannt Arten ein. *Datura stramonium* (Weißer Stechapfel), *Iva xanthiifolia* (Schlagkraut), *Panicum dichotomiflorum* (Gabelästige Rispenhirse) oder *Setaria faberi* (Farbers Borstenhirse) könnten vom Klimawandel profitieren und sich von Süden kommend weiter nordwärts auf den Äckern ausbreiten.

Einige Unkrautarten vermögen diesem schnellen Wandel jedoch nicht standzuhalten. Es besteht die Gefahr, dass diese aussterben – ein Problem vieler derzeit gefährdeter Arten.

### 3.2.2 Verschiebung der ökologischen Nische

Ökologisch wird sich auch eine Verschiebung der realisierten Nische vollziehen – ein Prozess den man unter dem Begriff *niche shift* zusammenfassen kann (NOGUÉS-BRAVO, 2009). Gerade das Klima ist einer der wichtigsten Faktoren, der die fundamentale Nische einer Art (also die theoretische Bandbreite an Bedingungen, unter die eine Art vorkommen kann) begrenzt. Die realisierte Nische ist das Ergebnis zahlreicher limitierender Faktoren der Umwelt und Organismen, die die Nische weiter eingrenzen. Verschiebt sich der Umweltfaktor Klima, so verschiebt sich auch die realisierte Nische.

Darüber hinaus tendierten viele Arten zu einem Nischenkonservatismus (PEARMAN et al., 2008) und verlieren die Fähigkeit, sich außerhalb ihrer ökologischen Nische zu entwickeln, da sie sich über Zeit an diese angepasst haben. Durch den Klimawandel werden einige Arten aus ihrem Optimum gedrängt und können sich außerhalb ihrer bislang realisierten Nische nur noch suboptimal entwickeln – ein Problem vieler seltener Ackerunkräuter. Invasive Arten dagegen zeigen das Phänomen, sich den rapide verändernden Bedingungen außerordentlich schnell anpassen zu können. Einige sind sogar fähig, eine aktive Veränderung ihrer Nische zu vollziehen. So ist dies zumindest für *Centaurea maculosa* (Rispen-Flockenblume) dokumentiert (BROENNIMANN et al., 2007). Diese in Amerika verbreitete Unkrautart hat demnach aktiv ihre Nische zu trockeneren Bedingungen verschoben.

Zudem könnte ein rapider Klimawandel auch zu frei werdenden Räumen innerhalb der Nische führen, wovon ebenfalls besonders invasive Arten profitieren können, die diese Freiräume schnell einnehmen (BROENNIMANN et al., 2007).

### 3.2.3 Verschiebung von Unkrautmerkmalen

Der Klimawandel wird primär über abiotische Faktoren wie Bodenfeuchte, Beschattungsgrad, Temperatur des Bodens und in Bodennähe Einfluss auf die Merkmalsausprägungen der Unkräuter ausüben. Diese reagieren darauf artspezifisch mit morphologischen und physiologischen Anpassungen, was sich in anderen Merkmalsausprägungen äußert. Jedoch gibt es auch eine Reihe von sekundären Faktoren, hierunter sind Merkmale hinsichtlich der Konkurrenz besonders wichtig. Für ein Unkraut stellt die Feldfrucht den größten Konkurrenten dar.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass in jeder Feldfrucht für die Unkräuter bestimmte Kombinationen an Merkmalen von Vorteil sind (GUNTON et al., 2011), um sich gegen diese zu behaupten. Ein passendes Keimfenster, schnelles Wachstum, schnelle Entwicklung und eine hohe Samenproduktion stellen oft die wichtigsten morphologischen Merkmale dar. Treten bspw. durch den Klimawandel die ersten Winterfröste im Jahr später ein oder sind die Temperaturen allgemein etwas höher, so bekommen solche Unkrautarten einen Vorteil, die Merkmale hinsichtlich verzögerter Keimung im Herbst, spätes Wachstum oder Entwicklung / Überdauerung im Winter aufweisen. Im Frühjahr und Sommer werden dagegen Unkrautarten mit Merkmalen hinsichtlich Wärme- und Trockenheitsanpassung von den sich verändernden Klimabedingungen profitieren.

Bislang kaum beachtet ist der Einfluss der Tageslänge bei möglichen Verschiebungsereignissen. Einige Unkrautarten sind in der Lage, die Photoperiode bereits im Keimstadium zu ermitteln und somit ihre Entwicklung der Tageslänge und der verbleibenden Vegetationsdauer anzupassen



(SWANTON et al., 1999). Das Keimfenster der Unkrautarten wird besonders beim Anbau von Winterkulturen von Bedeutung sein. Das Keimfenster vieler Unkrautarten reicht bisher nicht in den Winter hinein. Sollte sich der Aussaatzeitpunkt durch den Klimawandel stark nach hinten verschieben, so werden allzeit keimfähige Arten wie *Capsella bursa-pastoris* (Hirtentäschelkraut) oder *Stellaria media* (Vogel-Sternmiere) gefördert. Andere Arten müssten ihr Keimfenster entsprechend der Tageslänge erst anpassen oder reagieren mit einem unter- oder überdurchschnittlichen Wachstum.

Auch der Zeitpunkt der Herbizidapplikation kann einen Einfluss ausüben. Durch eine Verschiebung des Applikationstermins werden andere Unkrautarten begünstigt, deren Keimfenster z. B. nach der letzten Behandlung liegt. Im Mais werden dadurch bspw. Wärme-Keimer begünstigt, die erst nach der letzten Herbizid-Applikation auflaufen. *Amaranthus retroflexus* (Zurückgekrümmter Fuchsschwanz), *Setaria*- (Borstenhirse-Arten), *Digitaria*- (Fingerhirse-Arten) oder *Chenopodium*-Arten (Gänsefuß-Arten) haben oft eine ausgesprochene späte Keimung (OTTE et al., 2006). Laut GUNTON et al. (2011) üben solche Termine auch einen starken Einfluss auf die weitere Individualentwicklung und später ausgebildete Unkrautmerkmale aus.

C<sub>4</sub>-Pflanzen verfügen über einen CO<sub>2</sub>-Konzentrationsmechanismus in den Leitbündelscheidenzellen. Ein erhöhter Anteil von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre wird sie daher wenig in ihrer Physiologie beeinflussen. C<sub>3</sub>-Pflanzen dagegen werden deutlich stärker begünstigt. Dieser Vorteil wird jedoch weitestgehend durch höhere Temperaturen kompensiert, da die Physiologie der C<sub>4</sub>-Pflanzen eher für warme Temperaturen optimiert ist (BUNCE und ZISKA, 2000). Noch ist der Großteil der hiesigen Unkrautarten vom C<sub>3</sub>-Typ. Weltweit gesehen sind jedoch die meisten Unkrautarten C<sub>4</sub>-Pflanzen (ZISKA & RUNION, 2007). Es ist damit zu rechnen, dass der Anteil an Wärme-angepassten C<sub>4</sub>-Arten durch z. B. Einwanderung zunehmen wird. Somit erreichen uns mit dem Klimawandel bestens an warme und trockene Bedingungen angepasste Unkrautarten.

### 3.3 Resultierende Veränderungen

Alle der o. g. drei Verschiebungsprozesse wirken sich so auf die Situation auf den Äckern aus, dass wir Veränderungen wahrnehmen. Hinsichtlich der Unkräuter werden wir vor allem einen Wandel in der Zusammensetzung der Unkrautarten und eine Veränderung in deren Merkmalsausprägungen bemerken.

#### 3.3.1 Veränderung des Unkrautartenspektrums

Durch die o.g. Verschiebungsprozesse ergeben sich Umschichtungen in den Dominanzstrukturen der Unkräuter. Einige Arten nehmen an Bedeutung zu, andere nehmen ab. Bestimmte (heute meistens bereits gefährdete) Arten verschwinden völlig, während einwandernde Arten neu in das System eindringen. Neben den Konkurrenzbeziehungen ändert sich auch die Abundanz der Arten. Der Klimawandel betrifft jedoch nicht jede Feldfrucht und deren assoziierten Unkräuter gleichermaßen. Eine ältere Untersuchung von SCHROEDER et al. (1993) zeigte die Unterschiede in der Unkrautartenzusammensetzung einzelner Kulturen. Jede Kultur verfügt demnach über ein charakteristisches Unkrautspektrum mit für sie typischen Arten. Es ist anzunehmen, dass diese individualistisch auf den Klimawandel reagieren und somit auf unterschiedliche Weise vom Klimawandel betroffen sind.

Getreide bspw. beherbergt größtenteils "klassische" archaeophytische Unkrautarten, die seit langem kulturbegleitend sind und sich den hiesigen Klimabedingungen und Bewirtschaftungsmethoden über einen langen Zeitraum angepasst haben (HILBIG und BACHTHALER, 1992). Dagegen beherbergen junge Kulturfrüchte wie Mais und Winterraps eine relativ hohe Anzahl an "modernen" Stickstoffliebenden Arten und neophytischen Unkräutern (PYSEK und RICHARDSON, 2007). So ist für Mais festzustellen, dass dort eine Vielzahl an Unkrautarten ursprünglich aus wärmeren Regionen stammt, sodass zukünftige wärmere und trockenere Bedingungen ihnen im Sommer zugute kommen. Hier findet sich auch die größte Anzahl an in jüngerer Zeit eingeschleppten Arten wie bspw. *Abutilon theophrasti* (Chinesische Samtpappel) oder *Sorghum halepense*.

Des Weiteren sind einige Kultur-begleitende Unkräuter sowohl vom Habitus als auch genetisch relativ eng mit der Kulturart assoziiert. Im Winterraps finden sich außerordentlich viele Brassicaceen als

Unkräuter wie z. B. *Sisymbrium*-Arten (Rauken), *Descurainia sophia* (Besenrauke), *Capsella bursa-pastoris* oder *Thlaspi arvense* (Acker-Hellerkraut) sowie Nährstoff-liebende Arten wie *Stellaria media* oder *Galium aparine* (Kletten-Labkraut). Im Mais dagegen gibt es auffällig viele Unkrauthirsen der gleichen Familie, die sogar im Erscheinungsbild demjenigen von Mais ähneln können (*Sorghum halepense* oder *Echinochloa crus-galli*). Hierfür muss jedoch nicht zwingend der Klimawandel verantwortlich sein. Von selektiven Herbizidbehandlungen ist z.B. bekannt, dass sie den Selektionsdruck auf solche Faktoren zu erhöhen. Es überlagern sich also agrarische Eingriffsmethoden und Landnutzungswandel mit den Auswirkungen des Klimawandels.

### 3.3.2 Veränderung der potentiellen Schadwirkung

Bedingt durch die o. g. Verschiebungen und individuellen Reaktionen der Unkräuter ändert sich auch die potentielle Schadwirkung des Unkrauts, die es auf die Feldfrucht ausüben kann. Die Gründe dafür sind jedoch vielfältig und einzelne Mechanismen sind oft schwierig voneinander zu trennen, da direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels sich mit agrarischen Bewirtschaftungsstrategien und den individuellen Reaktionen der Unkräuter überlagern (MCDONALD et al., 2009).

Einige Unkrautarten werden nicht nur in ihrer Abundanz zunehmen, sondern auch potentiell mehr Schadwirkung erzielen, da sie individuell durch ein z. B. verstärktes Wachstum oder einer größeren Biomasseproduktion konkurrenzstärker werden. MCDONALD et al. (2009) berichten für die USA von *Abutilon theophrasti* und *Sorghum halepense* in Mais – beides Unkräuter, die momentan auch an Bedeutung in Deutschland gewinnen. Andere Unkrautarten können dem Klimawandel oder agrarischen Anpassungen weniger standhalten und verringern ihre Konkurrenzkraft. Somit werden in Zukunft z. T. andere Arten eine Rolle spielen und einige Arten werden eine andere Durchsetzungskraft haben als heute.

## 4. Handlungsfelder

Selbst vergleichsweise simple Zusammenhänge wie derjenige zwischen Temperatur und Saattermin zeigen, welche komplexen Auswirkungen jede kleine Veränderung haben kann. Daher ist es sinnvoll, die Wirkweisen des Klimawandels in Parameter zu zerteilen und diese einzeln zu analysieren.

Klimaparameter (wie z. B. die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration) können wir technisch ermitteln. Wie können wir jedoch an Unkräutern und Kulturpflanzen den Wandel bestimmen? Welche Parameter sind an ihnen zu messen? Veränderungen auf genetischer Ebene aufzuzeigen ist sehr schwierig, da sich Änderungen meistens erst nach einiger Zeit genetisch manifestieren (FRANKS et al., 2007). Daher müssen wir uns auf phänologische, morphologische oder anatomische Merkmale der Pflanzen konzentrieren. Um die Auswirkungen des Klimawandels an Pflanzen zu bestimmen, eignen sich besonders morphologische Parameter wie z. B. Keimrate, Entwicklungsgeschwindigkeit, Wuchshöhe, Blühzeitraum, Biomasse und Samenanzahl. Diese Parameter sollten stets in Abhängigkeit zu unterschiedlichen Klimaten gestellt werden, damit sich Zusammenhänge ableiten lassen. Als phänologisches Merkmal ist z. B. die Blühphase, das Voranschreiten der Rapsblüte oder die Blühdauer ein wichtiger Indikator für die Entwicklungsgeschwindigkeit der Kulturpflanzen als auch der Unkräuter. Die auf diese Weise gewonnenen Daten sind die Voraussetzung und der Grundstein für alle weiteren Arbeitsschritte, um damit komplexere Zusammenhänge zu erklären.

### 4.1 Forschung

Aus den gewonnenen Daten können Voraussagen und komplexere Zusammenhänge abgeleitet werden. Beispielsweise lassen sich die Verschiebungen in den Verbreitungsarealen einzelner Arten (*range shifts*) anhand Klimaprojektionen und individuellen Reaktionsnormen für jedes Unkraut abschätzen. Veränderungen der potenziellen Schadwirkung einzelner Unkräuter lassen sich anhand morphologischer Parameter abschätzen. Ein Austausch bestimmter Unkrautarten gegen andere (sog. *substitutions*) kann anhand von Wechselwirkungen mit ökologischen Parametern geschätzt werden (MCDONALD et al., 2009). Bestimmte Klimabedingungen können eine Anpassung der Herbiziddosen erfordern. Solche können ebenfalls geschätzt und extrapoliert werden. Aus den Schätzungen lassen

sich Modelle erstellen, aus denen sich wiederum genauere Prognosen ableiten lassen. Unseres Erachtens bislang wenig beachtet ist der Einfluss der Tageslänge auf mögliche klimatische oder agrarische Verschiebungseignisse. Er sollte in zukünftigen Prognosen einbezogen werden.

#### 4.2 Praxis

Anhand von gewonnenen Daten und Prognosemodellen lassen sich dann konkrete Schlussfolgerungen für die Praxis ableiten und Gegenmaßnahmen entwickeln. Herbizid-Dosierungen und -Wirkstoffe können dem Klimawandel angepasst und optimiert werden. Eine mechanische Unkrautbekämpfung kann zielgerichteter erfolgen. Veränderungen in der Periodizität lassen bestimmte Aussaattermine und Auflauftermine günstiger erscheinen. Durch fortlaufendes Monitoring können die Wanderungsbewegungen der Unkrautarten erfasst werden und frühzeitig evtl. Maßnahmen ergriffen werden.

#### Danksagung

Diese Studie wurde im Rahmen des KLIFF-Forschungsverbunds durchgeführt. Wir danken dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur für die Förderung.

#### Literatur

- BROENNIMANN, O., U.A.TREIER, H. MÜLLER-SCHÄRER, E. THUILLER, A.T.PETERSON UND A. GUISAN, 2007: EVIDENCE OF CLIMATIC NICHE SHIFT DURING BIOLOGICAL INVASION. *ECOLOGY LETTERS* **10**, 701–709.
- BUNCE, J. A. UND L.H. ZISKA, 2000: CROP ECOSYSTEM RESPONSES TO CLIMATIC CHANGE: CROP/WEED INTERACTIONS. *CLIMATE CHANGE AND GLOBAL CROP PRODUCTIVITY*, CABI, CAMBRIDGE.
- FRANKS, S. J., S. SIM UND A.E. WEIS, 2007: RAPID EVOLUTION OF FLOWERING TIME BY AN ANNUAL PLANT IN RESPONSE TO A CLIMATE FLUCTUATION. *PNAS* **104**, 1278–1282.
- GOERKE, K., U. RICHTER, M. SCHULTE UND B. GEROWITT, 2008: REGIONALE UNTERSCHIEDE IN DER RAPSUNKRAUTFLORA DEUTSCHLANDS. *GESUNDE PFLANZEN* **60**, 151–158.
- GUNTON, R. M., S. PETIT UND S. GABA, 2011: FUNCTIONAL TRAITS RELATING ARABLE WEED COMMUNITIES TO CROP CHARACTERISTICS. *JOURNAL OF VEGETATION SCIENCE* **22**, 541–550.
- HILBIG, W. UND G. BACHTHALER, 1992: WIRTSCHAFTSBEDINGTE VERÄNDERUNGEN DER SEGETALVEGETATION IN DEUTSCHLAND IM ZEITRAUM VON 1950-1990 – 2, *ANGEWANDTE BOTANIK* **66**, 201–209.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE), 2010: FOURTH ASSESSMENT REPORT: CLIMATE CHANGE 2010, IPCC, GENEVA, SWITZERLAND.
- JENTSCH, A., J. KREYLING, J. BOETTCHER-TRESCHKOW UND C. BEIERKUHLEIN, 2009: BEYOND GRADUAL WARMING: EXTREME WEATHER EVENTS ALTER FLOWER PHENOLOGY OF EUROPEAN GRASSLAND AND HEATH SPECIES. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY* **15**, 837–849.
- MCDONALD, A, S. RIHA, A. DITOMMASO UND A. DEDAETANO, 2009: CLIMATE CHANGE AND THE GEOGRAPHY OF WEED DAMAGE: ANALYSIS OF U.S. MAIZE SYSTEMS SUGGESTS THE POTENTIAL FOR SIGNIFICANT RANGE TRANSFORMATIONS. *AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT* **130**, 131–140.
- MENZEL, A., G. JAKOBI, R. AHAS, H. SCHEIFINGER UND N. ESTRELLA, 2003: VARIATIONS OF THE CLIMATOLOGICAL GROWING SEASON (1951-2000) IN GERMANY COMPARED WITH OTHER COUNTRIES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY* **23**, 793–812.
- NOGUÉS-BRAGO, D., 2009: PREDICTING THE PAST DISTRIBUTION OF SPECIES CLIMATIC NICHEs. *GLOBAL ECOLOGY AND BIOGEOGRAPHY* **18**, 521–531.
- OTTE, A., S. BISSELS UND R. WALDHARDT, 2006: SAMEN-, KEIMUNGS- UND HABITATEIGENSCHAFTEN: WELCHE PARAMETER ERKLÄREN VERÄNDERUNGSTENDENZEN IN DER HÄUFIGKEIT VON ACKERWILDKRÄUTERN IN DEUTSCHLAND? *ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ SONDERHEFT XX*, 507–516.
- PEARMAN, P.B., A. GUISAN, O. BROENNIMANN UND C.F. RANDIN, 2008: NICHE DYNAMICS IN SPACE AND TIME, *TRENDS IN ECOLOGY AND EVOLUTION* **23**, 149–158.
- PYSEK, P. UND D.M. RICHARDSON, 2007: TRAITS ASSOCIATED WITH INVASIVENESS IN ALIEN PLANTS: WHERE DO WE STAND? In: *BIOLOGICAL INVASIONS*, SPRINGER, HEIDELBERG, BERLIN, 97–125.
- SCHROEDER, D., H. MUELLER-SCHAERER UND C.S.A. STINSON, 1993: A EUROPEAN WEED SURVEY IN 10 MAJOR CROP SYSTEMS TO IDENTIFY TARGETS FOR BIOLOGICAL CONTROL. *WEED RESEARCH* **33**, 449–458.
- SWANTON, C.J., J.Z. HUANG, W. DEEN, M. TOLLENAAR, A., SHRESTHA UND H. RAHIMIAN, 1999: EFFECTS OF TEMPERATURE AND PHOTOPERIOD ON *SETARIA VIRIDIS*. *WEED SCIENCE* **47**, 446–453.
- WALTHER, G.-R., E. POST, P. CONVEY, A. MENZEL, C., PARMESAN, T.J.C. BEEBEE, J.-M. FROMENTIN, O. HOEGH-GULDBERG UND F. BAIRLEIN, 2002: ECOLOGICAL RESPONSES TO RECENT CLIMATE CHANGE. *NATURE* **416**, 389–395.

25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 13.-15. März 2012, Braunschweig

WISSKIRCHEN, R. UND H. HAUPLER, 1998: STANDARDLISTE DER FARN- UND BLÜTENPFLANZEN DEUTSCHLANDS, EUGEN ÜLMER, 765 S.

ZISKA, L.H. UND G.B. RUNION, 2007: FUTURE WEED, PEST, AND DISEASE PROBLEMS FOR PLANTS. IN: AGROECOSYSTEMS IN A CHANGING CLIMATE, TAYLOR & FRANCIS, 261–287.

## Sektion 1: Herbizidresistenz bei Unkräutern

### Section 1: Herbicide resistance in weeds

## Nicht-Zielortresistenzen bei *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* – Resistenzmuster und Resistenzfaktoren

*Non target-site resistance inherent in Alopecurus myosuroides and Apera spica-venti – resistance pattern and factors*

Jan Petersen<sup>1\*</sup>, Georg Naruhn<sup>1</sup> & Hans Raffel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Sciences and Engineering, Berlinstr. 109, D-55411 Bingen

<sup>2</sup>Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, D-63477 Maintal

\*Korrespondierender Autor, [petersen@fh-bingen.de](mailto:petersen@fh-bingen.de)

DOI: 10.5073/jka.2012.434.004

### Zusammenfassung

Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Gemeiner Windhalm (*Apera spica-venti*) sind die bedeutendsten Ungrasarten im deutschen Getreideanbau. Beide Arten weisen mit deutlich zunehmender Tendenz regional Herbizidresistenzen auf. Bei der überwiegenden Anzahl der Resistenzfunde lassen sich keine Zielortresistenzen (target-site resistance, TSR) nachweisen. Kreuzresistenzmuster bei blatt- aber auch bei bodenaktiven Herbiziden deuten an, dass Nicht-Zielortresistenzen (non target-site resistance, NTSR) - mutmaßlich metabolische Resistenzen - ursächlich für die beobachteten Herbizidminderwirkungen sind. Von NTSR können beim Gemeinen Windhalm auch die Voraufauerherbizidwirkstoffe Diflufenican und Pendimethalin betroffen sein, während die Wirkstoffe Flufenacet, Flurtamone und Prosulfocarb bislang nicht von NTSR betroffen sind. Biotypen von Ackerfuchsschwanz zeigten ebenfalls häufig NTSR. Die Resistenzmuster sind sehr unterschiedlich, so dass sich von der Wirkung eines Herbizids nicht die Reaktionen anderer Wirkstoffe (selbst bei gleichen Wirkmechanismus) vorhersagen lassen. Die festgestellten Resistenzmuster der untersuchten Herkünfte und deren Kreuzungen deuten eine komplexe, polygene bedingte Kontrolle der NTSR-Mechanismen an.

**Stichwörter:** Diflufenican, Flufenacet, Kreuzungen, Pendimethalin, Voraufauerherbizide

### Summary

*Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* are the most important grass weeds in German cereal cropping systems. Both species show increasing resistance problems with herbicide resistant biotypes in many regions. In many cases, non target-site resistance (TSR) mechanism can be detected. In these biotypes resistance is assumingly based on non target-site-mechanisms (NTSR) and an enhanced metabolism might be responsible in the first place. Resistance in *A. spica-venti* biotypes can also be found against pre-emergence herbicides like diflufenican and pendimethalin. However, until now no resistance in *A. spica-venti* against the active ingredients flurtamone, flufenacet and prosulfocarb could be detected. *A. myosuroides* biotypes also frequently show NTSR mechanisms. Resistance patterns are variable and predictions about the efficacy of one herbicide cannot be made based on the knowledge of the effects of another ingredient even within the same mode of action group. The resistance patterns of different *A. myosuroides* biotypes and crosses indicate a complex, polygenic control of NTSR mechanisms.

**Key words:** Crosses, diflufenican, flufenacet, pendimethalin, pre-emergence herbicides

### 1. Einleitung

Ackerfuchsschwanz und Gemeiner Windhalm sind in West- und Mitteleuropa die wichtigsten Ungräser im Wintergetreide. Durch die bereits Jahrzehnte anhaltende hohe Bedeutung des Wintergetreides in den Fruchtfolgen sind Herbizidmaßnahmen gegen diese Unkräuter häufig notwendig. Da nur eine beschränkte Auswahl an unterschiedlichen selektiven Wirkmechanismen zur Verfügung steht, die wiederum häufig eingesetzt werden, wurden seit den 1980er Jahren mit zunehmender Relevanz herbizidresistente Biotypen selektiert. Zielortresistenzen (target-site resistance, TSR) kommen bei Ackerfuchsschwanz gegen ACCase-Inhibitoren derzeit in Deutschland mit einer Frequenz von ca. 10 % aller bestätigten Resistenzfälle und bei ALS-Inhibitoren mit ca. 1-2 % zwar vor, es dominieren aber Nicht-Zielortresistenzen mit mutmaßlich metabolischen

Resistenzursachen. Beim Gemeinen Windhalm ist die Situation ähnlich, jedoch sind hier ALS TSR häufiger als beim Ackerfuchsschwanz (ca. 15 %), während ACC-TSR derzeit sehr selten anzutreffen ist (<<1 %).

Nicht-Zielortresistenzen (NTSR) haben derzeit folglich bei beiden Ungräsern eine hohe Bedeutung, wobei hinzukommt, dass selbst bei den TSR häufig auch noch weitere Resistenzmechanismen in den jeweiligen Biotypen vorhanden sein können. Die Kenntnisse über Art und Anzahl betroffener Herbizidwirkstoffe bei NTSR und Parameter, die für die Populationsdynamik der resistenten Biotypen Relevanz besitzen, sind in vielen Fällen sehr gering, ebenso wie die einzelnen Mechanismen, die die NTSR begründen.

Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es 1) zu klären, ob Voraufbauherbizide bei NTSR-Windhalmbiotypen voll wirksam sind und somit zum Resistenzmanagement bei blattaktiven Wirkstoffen beitragen können und 2) Ackerfuchsschwanzherkünfte zu identifizieren und zu charakterisieren, die sehr unterschiedliche Resistenzmuster gegen verschiedene Wirkstoffe besitzen, um eine Basis für Kreuzungsexperimente und weitergehende Untersuchungen zu schaffen, die zur Aufklärung der NTSR-Mechanismen dienen können.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Resistenzmuster von Voraufbauherbiziden bei verschiedenen Windhalmherkünften**

Aus vorangegangenen Versuchen wurden Windhalmherkünfte ausgewählt, die gegenüber blattaktiven Herbiziden mit unterschiedlichen Wirkmechanismen verschiedenste Reaktionsmuster zeigten. Alle ausgewählten Herkünfte wurden zudem auf das Vorkommen bekannter Zielortresistenzen (ALS 197 und 574; ACCase 1781, 2027, 2041, 2078, 2096) genetisch charakterisiert (Tab. 1). Deutlich wird, dass die festgestellten Herbizidresistenzen im Phänotyp überwiegend nicht oder nur teilweise mit Punktmutationen auf dem Genom des Herbizidtargets zu erklären sind und die Herkünfte daher für die hier zu prüfende Fragestellung geeignet waren. Die Windhalmherkünfte wurden in einen gedämpften sandigen Lehmboden (~pH 6,3 und Humusgehalt 2 %) in 8 cm Jiffy-Pots gesät. Die Samen wurden mit 1-2 mm feingesiebten Ackerboden abgedeckt und in einem Gewächshaus aufgestellt. Die Gefäße wurden durch Anstauen auf den Tischen von unten nach Bedarf bewässert. Zwei Tage nach der Saat erfolgte die Herbizidbehandlung im Voraufbau mit jeweils sechs Aufwandmengen (Tab. 2). Eingesetzt wurden gängige, aktuell in Deutschland zugelassene Produkte mit Ausnahme des Produktes Brodal 500 SC. Die Applikation erfolgte mit einer Einradparzellenspritze (Düse AI 110025; 200 l/ha Wasser, 4,5 km/h, 2,1 bar). Nach der Applikation erfolgte einmalig ein Bewässern von „oben“ mit ca. 3 l/m<sup>2</sup>. Je Herbizid und Aufwandmenge wurden pro Herkunft drei Wiederholungen angelegt. 21 Tage nach dem Aufbau erfolgte eine Bonitur der Wirkung (0-100 %) jeder Variante jeweils in Bezug zu einer mitgeführten unbehandelten Kontrolle je Herkunft. Mit den Daten wurden Dosis-Wirkungskurven und ED<sub>90</sub>-Werte nach den Methoden von STREIBIG et al. (1995) und STREIBIG (1998) kalkuliert. Die ED<sub>90</sub>-Werte wurden dann in Bezug zu der jeweils maximal zugelassenen Aufwandmenge des Herbizids gesetzt, um die Relevanz der Ergebnisse für die praktische Unkrautregulierung abzuschätzen.

**Tab. 1** Untersuchte Windhalmherkünfte, Jahr und Ort der Samenprobenahme und Resistenzmuster gegen blattaktive Herbizide (S – sensitiv; r- geringer Resistenzgrad; R – hoher Resistenzgrad; n.b. nicht bestimmt; TSR: Zielortresistenz gegen ALS-/ACCase-Inhibitoren mit Position der detektierten Punktmutation).

**Tab. 1** *Apera spica-venti* biotypes and resistance pattern for leaf active herbicides (S – susceptible; r – low resistance factor; R – strong resistance; n.b. – not detected; TSR: target-site resistance against ALS-/ACCase-inhibitors with position of detected SNPs).

Jahr	Herkunft	PLZ	Ort	Axial60 0,9 l/ha	Husar OD 0,1 l/ha	IPU 1,25 l/ha	Broadway 0,13 kg/ha	TSR ACCase	TSR ALS (Position)
2008	884	34613	Schwalmstadt	R	R	r	R	-	197
2009	9027	31699	Beckedorf	S	r	S	n.b.	-	-
2009	9084	54516	Wottlich	S	r	S	S	-	-
2009	9115	4552	LWB Neukirschen	S	R	S	n.b.	-	-
2009	9119	39517	Tangerhütte	S	R	S	n.b.	-	-
2009	9129	34434	Borgentreich	S	S	R	n.b.	-	-
2009	W10-037	23845	Grabau	S	R	r	n.b.	-	574
2010	W10-074	4720	Großweitschen	S	R	R	r	-	-
2010	W10-076	4769	Casabra	S	R	S	S	-	-
2010	W10-078	4758	Oschatz	S	R	S	r	-	574
2010	W10-080	4758	Nasenberg	S	r	S	S	-	-
2010	W10-107	34414	Warburg	S	R	r	R	-	197
2010	W10-146	31303	Burgdorf	r	R	r	r	-	-
2010	W10-185	DK 5200	Odense	R	R	S	r	-	574

Husar OD (100 g/l Iodosulfuron); IPU (500 g/l Isoproturon); Broadway (68,3 g/kg Pyrosulam + 68,3 g/kg Florasulam); Axial50 (50 g/l Pinoxaden)

**Tab. 2** Voraufflaferbizide und Aufwandmengen zur Windhalmbekämpfung in l/ha und in % zur max. zugelassenen Dosis.

**Tab. 2** *Dosages of pre-emergence herbicides (l/ha and resp. % of max. registered dosage) for Apera spica-venti control.*

Herbizid	6,25%	12,5 %	25%	50%	100%
Boxer (800 g/l Prosulfocarb )	0,3125	0,625	1,25	2,5	5
Cadou SC (500 g/l Flufenacet = Fluf.)	0,03125	0,0625	0,125	0,25	0,5
Stomp Aqua (455 g/l Pendimethalin)	0,275	0,55	1,1	2,2	4,4
Bacara ( 100 g/l Dff + 250 g/l Flurtamone = Flurt.)	0,0625	0,125	0,25	0,5	1
Bacara Forte (120 g/l Fluf.+120 g/l Dff. + 120 g/l Flurt.)	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
Brodal 500 SC (500 g/l Diflufenican = Dff)	0,0125	0,025	0,05	0,1	0,2

## 2.2 Resistenzmuster beim Ackerfuchsschwanz

Zur phänotypischen Charakterisierung der Herbizidresistenz wurden einige Herkünfte aus vorangegangenen Untersuchungen so ausgewählt, dass sie sich möglichst deutlich im Resistenzmuster und -grad unterschieden. Tabelle 3 listet die Herkünfte auf und zeigt das Ergebnis durchgeführter genetischer Untersuchungen auf Zielortresistenzen der ACCase und der ALS. Das prinzipielle Vorgehen bei der Durchführung des Versuches entsprach den oben zum Windhalm beschriebenen Methoden. Bis auf Cadou SC wurden allerdings die Herbizide (Tab. 4) im Nachauflauf (BBCH 12) appliziert. Atlantis WG wurde zusammen mit Genapol ausgebracht. Ferner wurden sechs Wiederholungen angelegt und die Pflanzen vor der Behandlung auf fünf Pflanzen pro Gefäß

vereinzelt. 21 Tage nach der Behandlung wurden die Sprossfrischmassegewichte festgestellt und wiederum Dosis-Wirkungskurven für alle fünf Herbizide (s.o.) kalkuliert und die ED<sub>90</sub>-Werte in Relation zu den maximal zugelassenen Aufwandmengen dargestellt (rel. ED<sub>90</sub>-Werte). Zusätzlich zu den Herkünften wurden auch einige F<sub>1</sub>-Populationen aus ausgewählten vorangegangenen Einzelpflanzenkreuzungen im oben beschriebenen System getestet. Die vorangegangenen Kreuzungen erfolgten zwischen den Herkünften Elbe x sen; Elbe x 9044 und 9044 x sen. Für die Kreuzungen wurden Erwartungswerte für die rel. ED<sub>90</sub>-Werte errechnet (rel. ED<sub>90</sub>-Wert Herkunft A + rel. ED<sub>90</sub>-Wert Herkunft B/2) und mit den tatsächlichen nach der oben genannten Methode ermittelten ED<sub>90</sub>-Werten verglichen.

**Tab. 3** Untersuchte Ackerfuchsschwanzherkünfte, Jahr und Ort der Samenprobenahme sowie Ergebnisse (Position) der ACCase- und ALS-Zielortresistenzen (TSR).

**Tab. 3** *Alopecurus myosuroides* biotypes (year and location of the seed sampling) and results of ACCase and ALS target-site resistance (TSR).

Jahr	Bezeichnung	PLZ	Ort	ACCase TSR	ALS TSR
2006	601	29451	Dannenberg/Elbe	-	-
2006	St21	74585	Reubach	-	-
2006	St44	78667	Villingendorf	-	-
2007	710	59229	Ahlen/Westfalen	-	-
2007	ST20	74585	Lenkerstetten	2078	-
2007	ST26	97837	Erlenbach	-	-
2008	Doc	54634	Dockendorf	2041	-
2008	869y	78176	Blumberg	-	-
2009	Elbe	21737	Wischhafen/Elbe	-	-
2009	9044	31036	Deinsen	-	-
2009	sensitiv		Herbiseed UK	-	-

**Tab. 4** Eingesetzte Herbizide und Aufwandmengen [l/ha bzw. g/ha] zur Ermittlung der Dosis-Wirkungskurven der Ackerfuchsschwanzherkünfte (Variante 1 = unbehandelt).

**Tab. 4** *Herbicides and dosages (l/ha resp. g/ha) for calculation of dose response curves for different Alopecurus myosuroides biotypes (treatment 1 = untreated).*

Herbizid/Var.	2	3	4	5	6	7
Atlantis WG (30 g/kg Mesosulfuron+6 g/kg Iodosulfuron)	50	150	300	500	1000	2000
Axial50 (50 g/l Pinoxaden)	0,3	1,2	4,8			
Cadou SC (500 g/l Flufenacet)	0,0625	0,125	0,25	0,5	0,75	1
Lentipur (700 g/l Chlortoluron)	0,5	1	2	3	6	12
Ralon Super (63,6 g/l Fenoxaprop-P)	0,3	0,6	0,9	1,2	2,4	4,8

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Einfluss von *Windhalm*-Biotypen auf die Wirksamkeit von Vorauffaflerbiziden

Die Analyse der Dosis-Wirkungskurven der Vorauffaflerbizide bei verschiedenen *Windhalm*herkünften mit Resistenz gegen blattaktive Herbizide zeigt deutlich, dass für die Herbizide Bacara, Bacara Forte, Boxer und Cadou SC gewisse Unterschiede in der Sensitivität der Herkünfte zu finden sind (Tab. 5). Diese sind aber nicht relevant, da im ungünstigsten Fall (unempfindlichste Herkunft) bereits 1/3 der zugelassenen Aufwandmenge ausreichen, um 90 % Wirkung zu erzielen. In der Mehrzahl der Fälle reichten unter den Gewächshausbedingungen hierfür bereits 10 bis 20 % der max. zugelassenen Herbizidaufwandmenge aus. Anders ist dies bei den Herbiziden Brodal 500 SC und Stomp Aqua. Hier sind bezogen auf die max. zugelassene Aufwandmenge deutliche höhere Aufwandmengen als bei den übrigen Herbiziden notwendig und die Sensitivitätsunterschiede zwischen den Herkünften sind teilweise deutlich größer. Diese Unterschiede führten dann auch dazu, dass einige resistente Herkünfte nicht mehr mit den zugelassenen Aufwandmengen zu kontrollieren waren. Deutlich wird dies beispielsweise an der Herkunft 884 bei der für eine 90 %ige Wirksamkeit



715 % der zugelassenen Aufwandmenge von Brodal 500 SC und 181 % der zugelassenen Aufwandmenge von Stomp Aqua benötigt wurden, während sensiblere Herkünfte nur 112 % der zugelassenen Aufwandmenge von Brodal 500 SC (Herkunft 9027) bzw. 56 % von Stomp Aqua (Herkunft W10-146) für eine 90 %ige Wirkung erforderten. Interessant ist auch die Beobachtung, dass den hier festgestellten NTSR gegenüber den Voraufbauherbiziden Diflufenican und Pendimethalin unterschiedliche Resistenzmechanismen zugrunde liegen dürften. Ein hoher Resistenzgrad gegen Diflufenican muss nicht zwangsweise auch eine Resistenz gegen Pendimethalin beinhalten, während dieses in umgekehrten Fall aber mit einander gekoppelt zu sein scheint.

**Tab. 5** Relative ED<sub>90</sub>-Werte (%) von Voraufbauherbiziden bei verschiedenen Windhalmherkünften in Bezug zur maximal zugelassenen Aufwandmenge (100 % = 90 % Wirkung mit max. zugelassener Aufwandmenge).

**Tab. 5** Efficacy of pre-emergence herbicides (rel. ED<sub>90</sub>-values (%) in relation to max. registered dosage) on different *Apera spica-venti* biotypes.

Herkunft	Bacara	Bacara forte	Boxer	Brodal (Dff)	Cadou SC	Stomp Aqua
884	11	12	16	715	11	181
9027	10	10	6	112	8	84
9084	33	22	6	509	14	131
9115	11	8	1	227	5	108
9119	28	11	5	129	14	78
9129	12	11	12	537	8	83
W10-037	13	20	6	256	11	62
W10-074	11	13	3	120	7	90
W10-076	11	12	7	116	7	96
W10-078	13	12	6	173	8	123
W10-080	9	8	7	205	7	104
W10-107	21	11	6	219	14	340
W10-146	11	11	11	294	10	56
W10-185	11	14	8	1535	10	178

### 3.2 Resistenzmuster beim Ackerfuchsschwanz in Abhängigkeit von Biotyp und der Biotypkreuzung

Die Zusammenstellung der rel. ED<sub>90</sub>-Werte der Ackerfuchsschwanzherkünfte macht deutlich, dass bei den verschiedenen Herkünften fast alle denkbaren Reaktionsmuster zu finden sind (Tab. 6). Alle Herkünfte wiesen eine sehr deutliche Resistenz gegen Fenoxaprop-P-Ethyl (Ralon Super) auf. Diese ACCase-Resistenz kann bei einer NTSR mit einer Pinoxadenresistenz (Axial 50) einhergehen (z.B. Herkunft 869y), was in unseren Untersuchungen aber nicht immer beobachtet wurde (z.B. Herkunft St 44). Der umgekehrte Fall trat allerdings nicht auf. Ebenfalls nicht zwangsweise korreliert sind Resistenzen gegen Chlortoluron und ACCase-Inhibitoren, wenngleich diese Kombination häufiger vorkam. Nur bei zwei Herkünften („Elbe“ und „710“) war eine „Atlantis-Resistenz“ zu erkennen, obwohl die ALS-TSR-Nachweise bei dieser Population negativ ausfielen. Bei diesen beiden Herkünften sind vermutlich NTSR-Mechanismen aktiv, die eine multiple Resistenz gegen drei oder teilweise sogar vier Wirkstoffklassen bedingten. Selbst das Voraufbauherbizid Cadou SC schien trotz anderem Wirkmechanismus und Einsatzzeitpunkt hiervon betroffen zu sein. Zwar bewegten sich die ED<sub>90</sub>-Werte für Cadou SC bei den unempfindlicheren Herkünften („710“, „ST20“ und „Elbe“) bei der maximal zugelassenen Aufwandmenge, aber der Vergleich zu den empfindlichen Biotypen machte große Sensitivitätsunterschiede deutlich. NTSR gegen Mesosulfuron schien mit einer deutlichen Unempfindlichkeit gegen Flufenacet einherzugehen, andererseits wurden Herkünfte mit geringer Flufenacet-Empfindlichkeit aber ohne Resistenz gegen Mesosulfuron beobachtet (z.B. ST20).

**Tab. 6** Relative ED<sub>90</sub>-Werte (%) versch. Herbizide bei Ackerfuchsschwanzherkünften in Bezug zur maximal zugelassenen Aufwandmenge (100 % = 90 % Wirkung mit max. zugelassener Aufwandmenge).

**Tab. 6** Efficacy of different herbicides (rel. ED<sub>90</sub>-values (%) in relation to max. registered dosage) on various *Alopecurus myosuroides* biotypes.

Herkunft	Atlantis WG (500 g/ha)	Axial50 (1,2 l/ha)	Cadou SC (0,5 l/ha)	Lentipur (3,0 l/ha)	Ralon Super (1,2 l/ha)
601	14	247	91	362	1021
St21	25	47	108	167	>1000
St44	20	75	28	95	1570
710	617	536	97	856	1688
ST20	22	625	234	216	>1000
ST26	16	177	93	567	>1000
Doc	11	233	25	221	>1000
869y	9	436	18	158	>1000
Elbe	760	163	156	222	>1000
9044	80	234	20	333	>1000
sensitiv	10	20	48	67	275

Die relativen Unterschiede in den ED<sub>90</sub>-Werten verschiedener Ackerfuchsschwanzherkünfte und deren Kreuzungen (Tab. 7) zeigten, dass sich die Resistenzfaktoren teilweise gemäß den Erwartungen (je nach Kreuzungspartner) tatsächlich verstärken oder reduzieren. Allerdings wird auch deutlich, dass teilweise die erwarteten Werte sehr deutlich von den ermittelten ED<sub>90</sub>-Werten abweichen.

**Tab. 7** Relative ED<sub>90</sub>-Werte (%) verschiedener Herbizide bei drei Ackerfuchsschwanzherkünften und deren Kreuzungen in Bezug zur maximal zugelassenen Aufwandmenge (100 % = 90 % Wirkung mit maximal zugelassener Aufwandmenge).

**Tab. 7** Efficacy of different herbicides (rel. ED<sub>90</sub>-values (%) in relation to maximum registered dose rate) on three *Alopecurus myosuroides* biotypes and their crosses.

Herkunft/Kreuzung	Status	Atlantis WG (500 g/ha)	Axial50 (1,2 l/ha)	Cadou SC (0,5 l/ha)	Lentipur (3,0 l/ha)	Ralon Super (1,2 l/ha)
sensitiv (sen)	ermittelt	10	20	48	67	275
Elbe	ermittelt	760	163	156	222	>1000
9044	ermittelt	80	234	20	333	>1000
F <sub>1</sub> 9044 x Elbe	erwartet	420	199	88	278	>1000
	ermittelt	225	1052	91	261	>1000
F <sub>1</sub> Elbe x sen	erwartet	385	92	102	144	>600
	ermittelt	114	33	25	163	176
F <sub>1</sub> 9044 x sen	erwartet	45	127	34	200	>600
	ermittelt	17	331	25	111	637

## 4. Diskussion

### 4.1 Einfluss von Windhalm-Biotypen auf die Wirksamkeit von Voraufbauherbiziden

Die Ergebnisse zur Wirksamkeit von Voraufbauherbiziden machen deutlich, dass für die wirksamen Windhalmprodukte bei entsprechender Wahl der Aufwandmenge wohl derzeit selbst auf Resistenzstandorten (Resistenz bei blattaktiven Mitteln) keine Bekämpfungsschwierigkeiten zu erwarten sind und im Umkehrschluss die Anwendung dieser Produkte im Sinne eines Resistenzmanagements empfehlenswert ist. Deutlich wurde aber auch, dass die Wirkstoffe Diflufenican und Pendimethalin als Solowirkstoffe eine deutlich geringere Potenz gegen den Windhalm besitzen als die anderen geprüften Produkte. Hier gab es relevante Differenzen in der Wirksamkeit zwischen den Biotypen mit der Konsequenz, dass von einem Resistenzverdacht gesprochen werden kann. Ferner ist festzuhalten, dass es bei einer NTSR beim Windhalm ähnlich wie beim Ackerfuchsschwanz große Unterschiede bezüglich der Resistenzmuster zwischen den Biotypen gibt. Dies legt die Vermutung nahe, dass auch beim Windhalm eine komplexe genetische Kontrolle der Herbizidresistenz vorliegt. Mittel- bis langfristig ist folglich davon auszugehen, dass weitere Wirkstoffe von der NTSR bei Windhalm betroffen sein werden.

### 4.2 Resistenzmuster beim Ackerfuchsschwanz in Abhängigkeit von Biotyp und der Biotypkreuzung

Die festgestellten Resistenzmuster und -grade gegenüber blattaktiven Herbiziden und Flufenacet unterscheiden sich bei den geprüften Ackerfuchsschwanzherkünften ohne nachgewiesene TSR stark. Diese bereits vielfach beschriebene Ergebnisse (z.B. MOSS und CUSSANS, 1985; ARLT, 1998; BÜNTE und NIEMANN, 2004; PETERSEN et al., 2008) macht es den Herbizidanwendern in Resistenzgebieten nahezu unmöglich, die in seiner Situation noch wirksamen Produkte gezielt auszuwählen, ohne sie selbst ausprobieren zu müssen. Es werden daher dringend Methoden benötigt auch NTSR schnell und einfach zu charakterisieren, um die entsprechenden Anwendungsempfehlungen zu ermöglichen und unwirksame Herbizidanwendungen zu vermeiden. Aus der Vielzahl der ermittelten Resistenzmuster und auch aus den wenigen Kreuzungsergebnissen lässt sich die Tendenz ablesen, dass die NTSR beim Ackerfuchsschwanz sehr unterschiedlich gesteuert werden. PETIT et al. (2010) zeigen dies für einige französische Ackerfuchsschwanzherkünfte. Mindestens ein bis drei, teilweise sogar sieben Genorte sind bei einer NTSR beteiligt. Da die NTSR-Gene zumindest teilweise unanhängig voneinander vererbt werden, können unterschiedliche Phänotypen entstehen und sich verschiedene Resistenzgene neu kombinieren bzw. in einem Biotyp akkumulieren. Eine Herausforderung wird folglich sein, die Resistenzmechanismen der NTSR aufzuklären und diese Kenntnisse für die Charakterisierung von Resistenzfunden zu nutzen bzw. in entsprechende Schnelltests umzusetzen.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen Einsendern von Ungrassamenproben, der Firma Syngenta, Maintal für die technische und finanzielle Unterstützung sowie bei der Firma Epilogic, Freising, für die TSR-Analysen der Ackerfuchsschwanzherkünfte.

## Literatur

- ARLT, K., 1998: ERGEBNISSE EINES VIERJÄHRIGEN MONITORINGS ZUM AUFTRETEN VON HERBIZID-WIRKUNGSVERLUSTEN BEI DER BEKÄMPFUNG DES ACKERFUCHSSCHWANZES *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVI**, 419-424.
- BÜNTE, R. UND P. NIEMANN, 2004: ERGEBNISSE EINES GEZIELTEN MONITORINGS AUF HERBIZIDRESISTENZ BEI *ALOPECURUS MYOSUROIDES* IN NORDWEST-DEUTSCHLAND. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XIX**, 863-869.
- MOSS, S.R. UND G.W. CUSSANS, 1985: VARIABILITY IN THE SUSCEPTIBILITY OF *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. (BLACK-GRASS) TO CHLORTOLURON AND ISOPROTURON. ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY **9**, 91-98.
- PETERSEN, J.; J.-M. NESER UND M. DRESBACH-RUNKEL, 2008: RESISTANT FACTORS OF TARGET-SITE AND METABOLIC RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.). JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 25-30.

- Petit, C., B. Duhieu, K. Boucansaud und C. Délye, 2010: COMPLEX GENETIC CONTROL OF NON-TARGET-SITE-BASED RESISTANCE TO HERBICIDES INHIBITING ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE AND ACETOLACTATE-SYNTHASE IN *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. *PLANT SCIENCE* **178**, 501-509.
- STREIBIG, J.C., 1988: HERBICIDE BIOASSAY. *WEED RESEARCH* **28**, 479-484.
- STREIBIG J.C., A. WALKER und A.M. BLAIR, 1995: VARIABILITY OF BIOASSAYS WITH METSULFURON-METHYL IN SOIL. *WEED RESEARCH* **35**, 215-224.

## Vergleich sensibler Populationen von *Apera spica-venti* L. (P.B.) hinsichtlich der Wirkung des ALS-Inhibitors Iodosulfuron

*A comparison of sensitive reference populations of Apera spica-venti L. (P.B.) to ALS inhibiting iodosulfuron*

Andrea Schulz\* & Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Phytomedizin, Satower Straße 48, D-18059 Rostock

\*Korrespondierender Autor, andrea.schulz2@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.005

### Zusammenfassung

Der Biotest zum Nachweis der Herbizidresistenz in einer Ungraspopulation ist eine in vielen Einrichtungen durchgeführte Methode, die unabhängig vom Resistenzmechanismus eine erste Einschätzung des Resistenzgrades ermöglicht. Die Einstufung des Resistenzgrades einer Population erfolgt in der Regel anhand eines mitgeführten sensitiven Standards. Im Gegensatz zu *Alopecurus myosuroides* sind für *Apera spica-venti* weder resistente noch sensitive Referenzpopulationen als anerkannte Standards vorhanden. Die Ergebnisse von Resistenzuntersuchungen sind daher zwischen verschiedenen Einrichtungen kaum zu vergleichen. Wir haben drei sensitive Standards von verschiedenen mitteleuropäischen Einrichtungen in ihrer Sensitivität gegenüber Iodosulfuron untersucht. Die Dosis-Wirkungs-Beziehungen von zwei Populationen ergab eine gegenseitige Austauschbarkeit. Eine dritte Population reagierte mit einer großen Varianz in den einzelnen Dosierungen. Möglicherweise ist das in dem Fall auf die heterogene Herkunft des Saatgutes zurückzuführen. Von vier weiteren Testpopulationen liefern nicht genügend Pflanzen für den Biotest auf.

*A. spica-venti* bildet pro Pflanze sehr viele Samen, von denen je nach den Abreifebedingungen ein sehr hoher Anteil taub und nicht keimfähig sein kann. Im Biotest kann das sehr nachteilig sein, wenn nicht die gewünschte Auflauftrate mit der Testpopulation erzielt werden kann. In einem weiteren Gewächshausversuch wurde das Auflaufverhalten von vier verschiedenen Populationen untersucht. Unabhängig von der Umgebungstemperatur lagen die Auflaufraten zwischen 4 % und 43 %. Eine höhere Auflauftrate ging mit einer kürzeren mittleren Auflaufdauer einher.

**Stichwörter:** Auflauftrate, Biotest, Herbizidresistenz, sensitiver Standard, Windhalm

### Summary

Whole plant bioassays are the most widely used test method for herbicide resistant grass weed populations. In whole plant bioassays, a susceptible standard population is usually included into the test procedure as the basis of resistance classification. Many institutions use their own susceptible standard in *Apera spica-venti* herbicide resistance tests. In contrast to *Alopecurus myosuroides* there are no approved susceptible or resistant standard populations. That is one reason why results of different institutions can hardly be compared with each other. We investigated three susceptible standard populations of Central European institutions. Dose response curves of three populations to iodosulfuron showed that two could be replaced by each other. A third population reacted with high variances between replications because of its heterogeneous origin from different fields and hence populations. Four more test populations emerged too poorly for establishing a bioassay.

Further greenhouse investigations on emergence of four different populations were conducted. There was no difference in emergence between temperatures observed, but between populations. The rates of emergence varied between 4 % and 43 %. The rate of emergence and the mean time for emergence were positively correlated.

**Key words:** Bioassay, emergency rate, herbicide resistance, loose silky bentgrass, susceptible reference

### 1. Einleitung

*Apera spica-venti*, eines der häufigsten Ungräser in den Wintergetreidekulturen Mittel- und Osteuropas konnte sich in den vergangenen Jahren zunehmend ausbreiten (ROLA, 1990; SOUKUP et al., 2006; MELANDER et al., 2008). Erfolgt keine Herbizidbehandlung insbesondere bei hohen Pflanzendichten, können beträchtliche Ertragseinbußen die Folge sein (MELANDER et al., 2008). Die relative Vorzüglichkeit des Herbizideinsatzes, die im Wesentlichen in der hohen Wirkungssicherheit begründet ist, wird inzwischen durch die Selektion resistenter Biotypen von *A. spica-venti* gegenüber

verschiedenen Wirkstoffen zunehmend herunter gesetzt. Um auf betroffenen Standorten ein geeignetes Antiresistenz-Management ergreifen zu können, ist die Diagnose von resistenten *A. spica-venti*-Populationen wichtig.

Die häufigste Methode zum Nachweis der Herbizidresistenz in einer Ungraspopulation ist der seit langem eingesetzte Biotest im Gewächshaus. Eine Methode, die unabhängig vom Resistenzmechanismus eine erste quantitative Einschätzung des Resistenzgrades einer Ungraspopulation ermöglicht, preiswert und in vielen Einrichtungen durchführbar, allerdings auch platz- und zeitintensiv ist. Zudem zeigten Ringtests, die sowohl gleiche als auch unterschiedliche Methoden miteinander verglichen, dass die Ergebnisse der verschiedenen Institutionen oftmals stark voneinander abweichen (STREIBIG et al., 1995; PETERSEN et al., 2010). Die Ursache liegt in einer Vielzahl von Umweltparametern, die die Biotestergebnisse entscheidend beeinflussen können (NORDMEYER und ZWERTGER, 2010). Ein weiterer Aspekt, der in den Betrachtungen bislang noch nicht berücksichtigt wurde, ist in der sensitiven Referenz zu sehen. Die Einstufung des Resistenzgrades einer Population erfolgt anhand eines parallel untersuchten sensitiven Standards. Im Gegensatz zu *Alopecurus myosuroides* sind für *A. spica-venti* weder resistente noch sensitive Referenzpopulationen als anerkannte Standards vorhanden. Sie sind institutsspezifisch und das Saatgut der sensitiven Standards beziehen die verschiedenen Versuchsansteller aus unterschiedlichen Quellen: Entweder aus der regelmäßigen Vermehrung einer einmalig auf einem unbehandelten Standort gewonnenen Saatgutprobe oder das Saatgut wird von kommerziellen Saatgutvermehrern bezogen oder es ist eine in der Zusammensetzung variierende Mischung sensitiv getesteter Populationen. Hier kann eine Ursache in der Variabilität der Ergebnisse von Resistenzuntersuchungen zwischen den einzelnen Versuchsanstellern liegen.

Ein erster Schritt in Richtung einer verbesserten Vergleichbarkeit wäre die Einordnung der jeweils verwendeten sensitiven Standards, d.h. die Feststellung wie sensitiv der eingesetzte Standard im Vergleich zu anderen ist. Wir sind mit einem Biotest der Frage nachgegangen, ob und wie sich die sensitiven Standards von sieben mitteleuropäischen Versuchsanstellern in ihrer Reaktion auf Iodosulfuron unterscheiden.

In unseren Untersuchungen war die Etablierung des für die Erstellung der Dosis-Wirkungs-Beziehungen erforderlichen Pflanzenbestandes mit einigen Schwierigkeiten verbunden: Die Mehrzahl der ausgesäten Populationen lief nur sehr spärlich bis gar nicht auf. Ein Problem, das häufig die Anwendung des Biotests erschwert. Zwar bildet *A. spica-venti* pro Pflanze zwischen 1.000 und 16.000 Samen, deren Qualität wird jedoch stark von der Witterung, der Kultur und den Abreifebedingungen beeinflusst (HAGEMEISTER und HEITEFUSS, 1988; SOUKUP et al., 2006). Der Anteil der tauben Samen an der Gesamtmenge der produzierten Samen kann mehr als 50 % betragen (HAGEMEISTER und HEITEFUSS, 1988). Im Gewächshaus wird in der Regel zwar nur gereinigtes Saatgut eingesetzt, das allein garantiert jedoch keine hohe Auflauftrate. Die niedrigen Auflauftraten sind ein großes Problem in den Untersuchungen resistenzverdächtiger *A. spica-venti*-Populationen. Ganzpflanzenversuche im Gewächshaus können jedoch nur gelingen, wenn eine entsprechende Anzahl von Testpflanzen zur Verfügung steht. Die sehr niedrigen Auflauftraten einiger Referenzpopulationen veranlassten uns, das Auflaufverhalten von *A. spica-venti* im Gewächshaus näher zu untersuchen, um Hinweise für das Gelingen weiterer Biotests zu erhalten.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Versuch 1: Sensitivitätsstatus der Referenzpopulationen**

Für den Vergleich der sensitiven Standards wurde nur Saatgut verwendet, das entweder aus der regelmäßigen Vermehrung einer einmalig auf einem unbehandelten Standort gewonnener Saatgutprobe stammte oder das von kommerziellen Saatgutvermehrern bezogen wurde (Tab. 1). In der Zusammensetzung variierende Mischungen wurden nicht berücksichtigt, da das Ergebnis zu sehr eine Momentaufnahme des Sensitivitätsstatus darstellen würde. Die Versuche wurden Ende April bis Anfang Juni 2011 in unseren Gewächshäusern durchgeführt.

**Tab. 1** Teilnehmende Einrichtungen, untersuchte Referenzpopulationen und deren Herkunft.**Tab. 1** *Participating institutions, susceptible reference populations and their origins.*

Einrichtung	Bezeichnung des Standards	Herkunft des Saatgutes
Universität Rostock	Öko Rostock	Institutseigene Vermehrung
JKI, Braunschweig	JKI Standard 2007	Institutseigene Vermehrung
BASF	Limburger Hof	Institutseigene Vermehrung
Universität Aarhus, Dänemark	Flakkebjerg ID 100	Institutseigene Vermehrung
Lfl Bayern, Freising	Herbiseed	Herbiseed
LWK Niedersachsen, Hannover	Appels Wilde Samen	Appels Wilde Samen
Agroscope Schweiz	Marchissy	Institutseigene Vermehrung

Das Saatgut wurde vor der Aussaat bei -18 °C für 8 Tage gelagert, um die Keimung und den Aufgang der Pflanzen zu verbessern. Die Aussaat erfolgte in unkrautsamenfreien Ackerboden in 7 \* 7 cm-Plastiktöpfe. Das Saatgut wurde mit einer 2 mm starken Quarzsandschicht (2 mm Körnung) abgedeckt. Die Bewässerung und Düngung erfolgten nach Bedarf und durch Anstau von unten. Die Pflanzen wurden im Gewächshaus bei 22/16 °C (16/8 h Tag/Nacht) kultiviert. Vor der Herbizidapplikation wurden die Pflanzen auf fünf Exemplare pro Topf vereinzelt. Der Versuch wurde in drei Wiederholungen durchgeführt.

Die Herbizidapplikation erfolgte im 2-Blatt-Stadium (BBCH 12-13) mit Iodosulfuron-Methyl-Natrium (Husar OD, 93,197 g a.i./L, Bayer CropScience) in Mischung mit dem Additiv Mero (81 % Rapsölmethylester). Zur Bestimmung der Dosis-Wirkungs-Beziehungen wurden ausgehend von der in Deutschland für Winterweizen zugelassenen Aufwandmenge von 0,1 L/ha Iodosulfuron mit 1,0 L/ha Mero sechs Dosierungen (1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1) appliziert. Die Kontrollpflanzen wurden mit Leitungswasser behandelt. Das benutzte Wasservolumen betrug 360 L/ha.

Die Applikation erfolgte mit einer stationären Laborspritze mit einer Flachstrahldüse (LU 120-01) bei einem Systemdruck von 4 bar und einer Geschwindigkeit von 0,7 km/h aus 50 cm Höhe (Topfoberkante).

Nach einer Wartezeit (5 Stunden) wurde die Oberfläche jedes behandelten Topfes mit destilliertem Wasser benetzt, um das Eindringen des Herbizids in den Boden zu gewährleisten und die volle Wirksamkeit zu ermöglichen. 21 Tage nach der Herbizidapplikation wurde die oberirdische Biomasse geerntet und die Frischmasse pro Pflanze bestimmt.

## 2.2 Versuch 2: Auflaufversuche im Gewächshaus

Die Auflaufversuche wurden mit vier weiteren Populationen durchgeführt. Neben dem institutseigenen sensitiven Standard (Population 1, entspricht Öko Rostock in Versuch 1) wurden drei Populationen aus Niedersachsen untersucht. Eine Population (Population 2) stammte von einem ökologisch, die weiteren Populationen (Population 3 und 4) von konventionell bewirtschafteten Standorten mit Verdacht auf Herbizidresistenz. Population 3 wurde von uns aus einer Bodenprobe im Gewächshaus nachgezogen; die Population 4 stammt aus gesammelten Samen. In einem Vorversuch zeigten sich die beiden letztgenannten Populationen resistent gegenüber Isoproturon, wohingegen die Populationen 1 und 2 sensitiv reagierten.

Das Saatgut wurde vor der Aussaat bei -18 °C für 8 Tage gelagert. Die Aussaat erfolgte entsprechend dem Auflaufverhalten in vorherigen Resistenzuntersuchungen der Populationen mit 15 Samen pro Topf (Populationen 1, 3 und 4) oder 20 Samen pro Topf (Population 2) in unkrautsamenfreien Ackerboden. Das Saatgut wurde mit einer 2 mm starken Quarzsandschicht (2 mm Körnung) abgedeckt. Die Bewässerung und Düngung erfolgten nach Bedarf und durch Anstau von unten. Die Töpfe wurden in zwei unterschiedlich temperierten Gewächshauskabinen (18/10 °C bzw. 23/15 °C, 16/8 h Tag/Nacht) kultiviert und der Aufgang der Sämlinge wurde über 16 Tage täglich beobachtet. Der Versuch wurde mit den Populationen 1 und 2 in jeweils 28-facher, der Versuch mit den

Populationen 3 und 4 in jeweils 25-facher Wiederholung durchgeführt.

### 2.3 Statistische Analyse

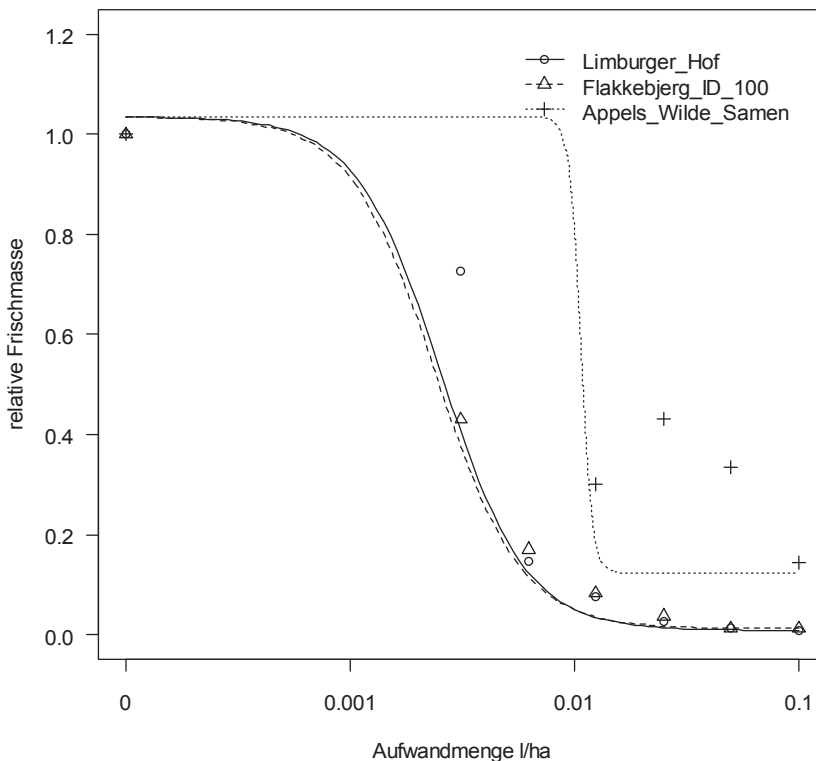
Die statistische Auswertung erfolgte mit R (Version 2.9.2) (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010). Für die graphischen Darstellungen wurde das Paket lattice, für die Analyse der Dosis-Wirkungs-Kurven das Paket drc verwendet.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Versuch 1: Sensitivitätsstatus der Referenzpopulationen

Das Saatgut des überwiegenden Teils der Referenzpopulationen lief sehr lückig bis gar nicht auf. Nur für die Populationen Limburger Hof, Flakkebjerg ID 100 sowie Appels Wilde Samen konnten daher Dosis-Wirkungs-Beziehungen ermittelt werden.

Die beiden Referenzpopulationen Limburger Hof und Flakkebjerg ID 100 unterschieden sich kaum in ihrer Reaktion auf Husar OD (Abb. 1). Die Kurven verlaufen nahezu parallel. Die  $ED_{50}$ -Werte für die Populationen Limburger Hof (0,003, SE 0,0005) und Flakkebjerg ID 100 (0,002, SE 0,0006) waren nahezu gleich. Für die Population Appels Wilde Samen beträgt der  $ED_{50}$  0,011 (SE 0,0175). Die gewählten Aufwandmengen decken sehr gut den Wirkungsbereich zwischen 80 % und 100 % Wirksamkeit ab. Um eine 90 %ige Reduktion der oberirdischen Frischmasse zu erzielen, müssen für die Populationen Limburger Hof und Flakkebjerg ID 100 0,007 l/ha (SE 0,0008) bzw. 0,006 l/ha (SE 0,0008) Husar OD aufgewendet werden. Für die Population Appels Wilde Samen ist mit 0,012 l/ha (SE 0,0035) hingegen die doppelte Wirkstoffmenge notwendig.



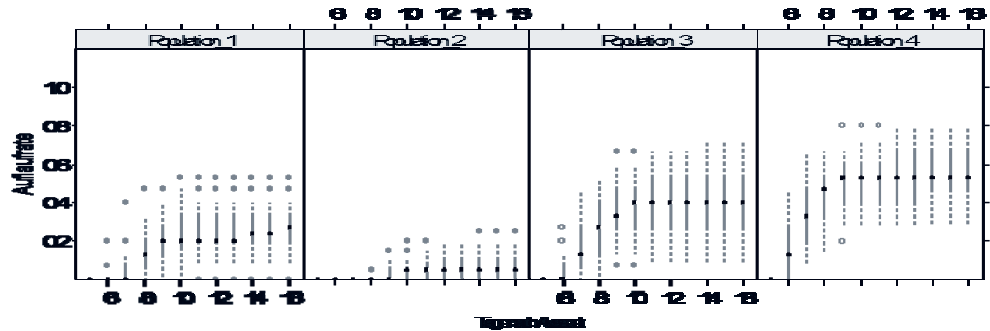
**Abb 1** Dosis-Wirkungs-Beziehung der drei mit Iodosulfuron behandelten sensitiven Standards.

**Fig. 1** Dose-response of all three tested susceptible reference origins.



### 3.2 Versuch 2: Auflaufversuche im Gewächshaus

Die Auflaufraten an den beiden unterschiedlich temperierten Standorten unterschieden sich kaum. Die Ergebnisse wurden daher zusammen gefasst. Die höchsten Auflaufraten wurden bei den Populationen 4 und 3 (43 % und 29 %) beobachtet (Abb. 2). Diese Pflanzen entwickelten sich auch schneller als die der anderen beiden Populationen. 95 % der Sämlinge der Populationen 1, 3 und 4 waren nach etwa 10 Tagen etabliert. Von Population 2 liefen nur 4 % der ausgesäten Samen auf, wofür der gesamte Testzeitraum von 16 Tagen notwendig war.



**Abb. 2** Kumulierter Auflauf der vier geprüften Populationen. Dargestellt ist die gesamte Spannweite in Form von Boxplots: Der Median (schwarzer Punkt), die Box mit 50 % der Werte (durchgezogene Linie), die oberen und unteren Antennen (gestrichelte Linie) sowie die Ausreißer (offene Kreise). Populationen 1 und 2: n = 28, Populationen 3 und 4: n = 25. Populationen 1, 3 und 4: 15 Samen/Topf, Population 2: 20 Samen/Topf.

**Fig. 2** Cumulated emergence of four different *A. spica-venti* populations. Shown is overall range as boxplots with median (black point), box with 50 % of all values (drawn line), upper and lower whiskers (dashed line) and outliers (open circle). Population 1 and 2: n = 28, Population 3 and 4: n = 25. Populationen 1, 3 and 4: 15 seeds/pot, Population 2: 20 seeds/pot.

## 4. Diskussion

Eine Vereinheitlichung der Biotestmethoden zum Nachweis quantitativer Herbizidresistenzen in Ungraspopulationen wurde von NORDMEYER und ZWERTGER (2010) angeregt. Neben einer Vielzahl umweltbedingter Parameter, die die Versuchsergebnisse entscheidend beeinflussen können, liegt ein weiterer Unsicherheitsfaktor in dem eingesetzten sensitiven Standard, der als Referenzpopulation die Basis für die Einordnung des Resistenzstatus der getesteten Population dient. In der hier vorgestellten Untersuchung wurden erstmals die sensitiven *A. spica-venti*-Standards von sieben mitteleuropäischen Versuchsanstellern direkt miteinander in Dosis-Wirkungs-Beziehungen gegen Iodosulfuron verglichen. Von den drei untersuchten Referenzpopulationen unterschieden sich zwei (Limburger Hof, Flakkebjerg ID 100) nicht signifikant in ihrer Reaktion auf die Applikation von Iodosulfuron. Die ED<sub>50</sub>- und ED<sub>90</sub>-Werte beider Populationen waren nahezu gleich. Resistenzuntersuchungen mit diesen Standards sind somit miteinander vergleichbar. Die dritte Referenzpopulation (Appels Wilde Samen) reagierte mit großen Varianzen zwischen den Wiederholungen, was einen direkten Vergleich mit den zuvor genannten erschwert. Die Ursache der Varianzen ist möglicherweise in der Herkunft des Saatgutes zu sehen: Es handelt sich um eine Mischung verschiedener Populationen von diversen Standorten im Umfeld des Saatgutvertreibers. Das Saatgut der beiden anderen Populationen stammte jeweils aus institutseigenen Nachzuchten.

Dass die Auflaufraten in dieser Untersuchung deutlich unter den Erwartungen blieben, ist in diesem konkreten Fall wahrscheinlich den schon im April und Mai sehr hohen Temperaturen und der geringen Luftfeuchtigkeit (unter 30 %) im Gewächshaus geschuldet. *A. spica-venti* zeigte in Versuchen anderer Autoren die höchsten Keimraten bei hohen Bodenfeuchtegehalten (WALLGREN und AAMISEPP, 1977). In unserer Untersuchung liefen zudem die Populationen sehr gut auf, deren Saatgut optisch den Eindruck erzeugte, sehr gut gereinigt zu sein. Die eher leichten Partikel wie Spelzen und kleine

Samen waren aus den Proben entfernt, so dass nur noch Samen mit einem höheren Tausendkorngewicht in dem Saatgut verblieben, das zur Aussaat gelangt ist. In früheren Untersuchungen zeigte sich, dass das Tausendkorngewicht der Samen von *A. spica-venti* mit der Keimrate positiv korreliert ist (eigene Daten, unveröff.).

Die Temperatur des Standortes (kälter oder wärmer) spielte für das Auflaufverhalten der weiteren vier untersuchten *A. spica-venti*-Populationen wie in den Untersuchungen von ANDERSSON und AKERBLOM (2009) keine Rolle. Zwei Populationen von konventionell bewirtschafteten Standorten, die in vorherigen Untersuchungen als resistent gegenüber Isoproturon eingestuft wurden, liefen signifikant schneller und stärker als die beiden anderen auf. Möglicherweise selektieren Herbizidbehandlungen zunächst die schnell keimenden und auflaufenden Pflanzen, die eine Herbizidbehandlung dadurch tolerieren können, dass sie zum Zeitpunkt der Applikation bereits einen Wachstumsvorsprung haben. Die beiden anderen, langsam und spärlich auflaufenden Populationen hingegen stammten von ökologisch bewirtschafteten Flächen und zeigten sich in unseren Untersuchungen sensitiv gegenüber Isoproturon. Diese Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen von GERHARDS und MASSA (2011), die einen schnelleren Auflauf und höhere Auflaufraten bei ALS-resistenten *A. spica-venti*-Populationen feststellten.

Monitorings zum Resistenzstatus diverser Ungraspopulationen werden in den nächsten Jahren weiter zunehmen. Wie in Ringtests gezeigt wurde, erfolgt die Bewertung des Resistenzgrades durch die verschiedenen Versuchsansteller aufgrund der unterschiedlichen Biotestverfahren nicht immer einheitlich (PETERSEN et al., 2010). Mit einer Vereinheitlichung der Methoden, wie sie von NORDMEYER und ZWERGER (2010) angeregt wurde, ist in nächster Zukunft nicht zu rechnen. Ein erster Schritt, die Ergebnisse diverser *A. spica-venti*-Monitorings vergleichbar zu machen, wäre die Verwendung desselben Standards aller Versuchsansteller. Unsere vergleichende Untersuchung dreier Referenzpopulationen sollte Anregung sein, in einem Ringtest die Dosis-Wirkungs-Beziehungen aller sensitiven Standards auch für weitere Herbizide abzugleichen.

## Literatur

- ANDERSSON, L. UND L. AKERBLOM ESPEBY, 2009: VARIATION IN SEED DORMANCY AND LIGHT SENSITIVITY IN *ALOPECURUS MYOSUROIDES* AND *APER A SPICA-VENTI*. WEED RESEARCH **49**, 1-10.
- GERHARDS, R. UND D. MASSA, 2011: TWO-YEAR INVESTIGATIONS ON HERBICIDE-RESISTANT SILKY BENT GRASS (*APER A SPICA-VENTI* L. P. BEAUV.) POPULATIONS IN WINTER WHEAT. POPULATION DYNAMICS, YIELD LOSSES, CONTROL EFFICACY AND INTROGRESSION INTO SENSITIVE POPULATION. GESUNDE PFLANZEN **63**, 75-82.
- HAGEMEISTER, H. UND R. HEITEFUSS, 1988: EIN BEITRAG ZUR POPULATIONSDYNAMIK UND SAMENBILDUNG VON WINDHALM, *APER A SPICA-VENTI*. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XI**, 83-89.
- MELANDER, B., N. HOLST, P.K. JENSEN, E.M. HANSEN UND J.E. OLESEN, 2008: *APER A SPICA-VENTI* POPULATION DYNAMICS AND IMPACT ON CROP YIELD AS AFFECTED BY TILLAGE, CROP ROTATION, LOCATION AND HERBICIDE PROGRAMMES. WEED RESEARCH **48**, 48-57.
- NORDMEYER, H. UND P. ZWERGER, 2010: ERFASSUNG VON HERBIZIDRESISTENZEN BEI UNGRÄSERN IM BIOTEST. JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN **62**, 376-382.
- PETERSEN, J., K. GEHRING, B. GEROWITT, H. MENNE UND H. NORDMEYER, 2010: ERGEBNISSE EINES RINGTESTES ZUR FESTSTELLUNG DER HERBIZIDRESISTENZ BEIM ACKERFUCHSSCHWANZ. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 275-276.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010: R: A LANGUAGE AND ENVIRONMENT FOR STATISTICAL COMPUTING. R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING, VIENNA.
- ROLA, J., 1990: DYNAMIK VON UNKRAUTPOPULATIONEN AUF LEICHTEN BÖDEN IN POLEN. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XII**, 97-100.
- SOUKUP, J., K. NOVÁKOVÁ, P. HAMOUZ UND J. NÁMESTEK, 2006: ECOLOGY OF SILKY BENT GRASS (*APER A SPICA-VENTI* (L.) BEAUV.), ITS IMPORTANCE AND CONTROL IN THE CZECH REPUBLIC. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 73-80.
- STREIBIG, J.C., A. WALKER, A.M. BLAIR, G. ANDERSON-TAYLOR, D.J. EAGLE, H. FRIEDLÄNDER, E. HACKER, W. IWANZIK, P. KUDSK, C. LABHARDT, B.M. LUSCOMBE, G. MADAFIGLIO, P.C. NEL, W. PESTEMER, A. RAHMAN, G. RETZLAFF, J. ROLA, L. STEFANOVIC, H.J.M. STRAATHOF UND E.P. THIES, 1995: VARIABILITY OF BIOASSAYS WITH METSULFURON-METHYL IN SOIL. WEED RESEARCH **35**, 215-224.
- WALLGREN, B.E. UND A. AAMISEPP, 1977: BIOLOGY AND CONTROL OF *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. AND *APER A SPICA-VENTI* L. PROC. EWRS SYMP. METHODS WEED CONTROL AND THEIR INTEGR. **1**, 229-241.

## The effects of different herbicide strategies on the genetic composition of *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.

Die Effekte von verschiedenen Herbizidstrategien auf die genetische Zusammensetzung von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.

Janin Rummland<sup>1\*</sup>, Dirk Kerlen<sup>2</sup>, Henning Nordmeyer<sup>3</sup> & Otto Richter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical University of Braunschweig, Institute of Geoeology, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig, Germany

<sup>2</sup>Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Str. 4a, 40764 Langenfeld, Germany

<sup>3</sup>Julius Kühn-Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Plant Protection in Field Crops and Grassland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany

\*Corresponding author, j.rummland@tu-braunschweig.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.006

### Summary

Herbicide resistance in weeds is an increasing problem in crop production systems. Resistance to acetolactate synthase (ALS) inhibitors is common worldwide. In Germany, there is recently an increase in the number of ALS resistant biotypes of *Apera spica-venti*.

The effects of different herbicide strategies on the weed species *A. spica-venti* were analyzed by a field trial. Two fields with a previous detected ALS target site resistance were chosen for a three year experiment. Four different herbicide strategies were applied: An ALS inhibitor each year, a soil-acting herbicide each year, an alternation between ALS inhibitor and soil-acting herbicide and a combination of several herbicidal mode of action groups. To assess the spatial distribution of resistant biotypes, plant samples were taken on fixed grid points before and after the herbicide treatment. The plant samples were analyzed for SNPs (Single Nucleotide Polymorphism) on the ALS codon P197. The results show that the different herbicide strategies exert an influence on the dynamics of resistance development.

**Keywords:** ALS target site resistance, field trials, Germany, herbicide resistance, loose silky-bent

### Zusammenfassung

Herbizidresistenz ist ein immer stärker werdendes Problem in der Getreideproduktion. Resistenzen gegenüber Acetolactatsynthase (ALS)-Hemmern sind weltweit verbreitet. In Deutschland gibt es eine steigende Zahl an ALS-Resistenzfällen bei *Apera spica-venti*-Populationen.

Die Effekte von verschiedenen Herbizidstrategien auf die Ungrasart *A. spica-venti* wurden durch Feldversuche untersucht. Zwei Felder mit einer nachgewiesenen ALS-Wirkortresistenz wurden ausgewählt um einen 3-jährigen Feldversuch durchzuführen. Vier verschiedene Herbizidstrategien wurden angewandt: Ein ALS-Hemmer in jedem Jahr, ein Bodenherbizid in jedem Jahr, Wechsel zwischen ALS-Hemmer und Bodenherbizid und eine Kombination aus unterschiedlichen Herbizidgruppen. Um die Verteilung der resistenten Biotypen zu bestimmen wurden Pflanzenproben an einem festen Raster vor und nach den Herbizidbehandlungen entnommen. Die Pflanzenproben wurden dann auf SNPs (Single Nucleotide Polymorphism) auf dem ALS-Kodon P197 untersucht. Die Ergebnisse zeigen das unterschiedliche Herbizidstrategien einen Einfluss auf die Resistenzdynamik ausüben.

**Stichwörter:** ALS-target-site Resistenz, Deutschland, Feldversuch, Herbizidresistenz, Windhalm

### 1. Introduction

Resistance to herbicides inhibiting acetolactate synthase (ALS) is the most common type of herbicide resistance worldwide (HEAP, 2011). Most of these cases are caused by various single-nucleotide polymorphisms (SNPs) on the ALS gene. ALS is the target site of many herbicides including sulfonylureas, imidazolinones and triazolopyrimidines (CORBET and TARDIF, 2006). The inhibition of the ALS leads to plant death due to reduced quantities of the amino acids leucine, valine and isoleucine. The first reported case of an ALS resistant *A. spica-venti* population in Germany was in 2005 (HEAP, 2011). Loose silky bent, also called windgrass (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.), is commonly found on light and sandy soil. This annual, monocotyledonous plant species occurs in winter cereals and winter oilseed rape in Germany. Seeds germinate mostly at or near the surface in late summer and autumn,

with a germination peak in late September to early October (WARWICK et al., 1985; WALLGREN and AVHOLM, 1978). Seeds do not have a long lifespan and exhibit little primary dormancy. Their longevity ranges from one to seven years, but mostly did not exceed two years (WALLGREN and AVHOLM, 1978; ZEMANEK, 1980) Flowering occurs mainly during summer and plants can produce up to 2000 seeds (WARWICK et al., 1985). There are also reports about up to 16000 seeds per plant (SOUKUP et al., 2006). Due to strong tillering and a long stem, *A. spica-venti* has a high competitive ability against the crop. Field trials were conducted to investigate the tillage effects on the seed bank (CARDINA et al., 1991; BALL and MILLER, 1990) or the impact of different types and times of tillage and herbicide treatments on the weed flora (MELANDER, 1995; BOSTRÖM, 1999). The objectives of this paper are to investigate the impact of different herbicide strategies on the density of the *A. spica-venti* population and also on their genetic composition.

## **2. Materials and methods**

### **2.1 Site description**

Two commercial fields with a prior detected resistance to ALS inhibitors were chosen for a three year field trial. The two fields are situated in the North (Lower Saxony) and in the East (Saxony) of Germany. The field in Lower Saxony (from here on called site A) is characterized by a sandy soil and ploughing was conducted frequently. The eight year field history showed a crop rotation consisting of triticale and maize. ALS-inhibitors respectively sulfonylureas were used frequently over at least a period of eight years prior to our trial. The second field in Saxony (from here on called site B) is characterized by a loamy sand and the last ploughing operation occurred at least 15 years ago. The crop rotation is almost only consisting of winter wheat and winter oilseed rape. To control *A. spica-venti* treatments with ALS inhibitors occurred three years in a row prior to our field trial. The ten year field history showed no further treatments with an ALS inhibitor.

### **2.2 Experiment design**

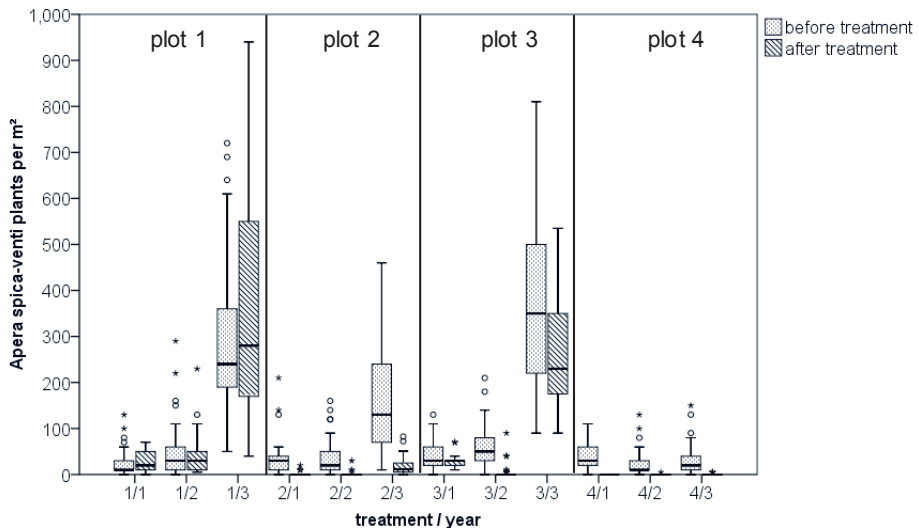
In the three years of the trial, from 2008 to 2011, winter wheat was grown. An area of approximately one hectare was divided into four plots. In the first year a ten meter grid was laid over the area. From the second year the grid was scaled down to six meters to get a more detailed resolution. On the four plots, different herbicide treatments were applied. Plot one was treated with an ALS inhibitor for the whole three year trial period. On plot two, a soil-acting herbicide, with an active ingredient from the HRAC group F1 and K3, was applied for three years. On plot 3, the herbicides from plot 1 and 2 were alternated. In the first and third year the ALS inhibitor was used and in the second year the herbicide treatment was conducted with the soil-acting herbicide. On plot 4, a hundred percent control of *A. spica venti* was tried to be achieved. Therefore, two herbicide applications with different mode of action (MoA) were used each year. In the first and third year one herbicide from the HRAC group C2 was applied and approximately four weeks later a herbicide from HRAC group A was used. In the second year the treatment consisted of a soil-acting herbicide with the mode of action F1 and K3 in autumn and an ACCase inhibitor in spring.

At the grid points, *A. spica-venti* seedling counts were obtained by placing a 0.1 m<sup>2</sup> quadrat and counting all seedlings within the square. The numbers were converted to weed seedlings per 1 m<sup>2</sup>. The counting was carried out before and six weeks after the herbicide application. At the same time plant samples were taken at each grid point. In the first year before herbicide application we took five plants. After that we took two samples. These *A. spica-venti* samples were analyzed using pyrosequencing to see if there is a single nucleotide polymorphism (SNP) on the ALS gen at position 197. Pyrosequencing is a method based on sequencing by synthesis. From the preprocess plant material a DNA fragment is amplified via PCR (Polymerase chain reaction). The purified PCR samples are analyzed by real-time monitoring of the DNA synthesis (AHMADIAN et al., 2006; MÜLHARDT, 2006).

### 3. Results

#### 3.1 *Apera spica-venti* density

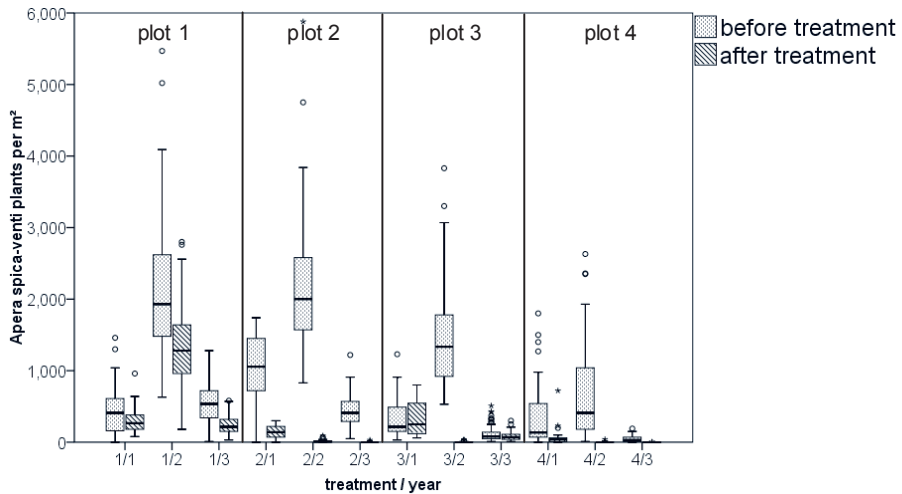
In Figure 1, the *A. spica-venti* density at study site A is shown. The density had a homogeneous distribution over the plots in the beginning of the field trial. The densities in plots 1 and 3 remained roughly the same from the first to the second year. In the other two plots a slight decrease from the first to the second year was seen. In the third year there was a dramatic increase in the number of plants per m<sup>2</sup> in plots 1 to 3. In Plot 4 was a minor increase in the third year was observed. In the case of the application of an ALS inhibitor the plant density stayed the same or decreased only slightly. If another herbicide than an ALS inhibitor was applied the density declined substantially after the treatment.



**Fig. 1** *A. spica-venti* density per m<sup>2</sup> at site A (treatments: 1, ALS inhibitor each year; 2, soil-acting herbicide each year; 3, ALS inhibitor year 1+3 and soil-acting herbicide year 2; 4, combination of herbicide groups).

**Abb. 1** *A. spica-venti*-Dichte pro m<sup>2</sup> am Standort A (Behandlungen: 1, ALS-Hemmer in jedem Jahr; 2, Bodenherbizid in jedem Jahr; 3, ALS-Hemmer 1.+3. Jahr und Bodenherbizid 2. Jahr; 4, Kombination von Herbizidgruppen).

The density of *A. spica-venti* during the 3-year field trial at study site B is shown in Figure 2. In the beginning of the experiment the density was nearly the same in the plots 1, 3 and 4. In plot 2 the density was slightly higher than in the other plots. In all plots there was an increase in the density from the first to the second year. An unexpected low density in all plots was observed in year three. The number of surviving plants after the treatment was very low in all plots apart from the cases when the ALS inhibitor was used, here only a small decline in the density of *A. spica-venti* was seen.

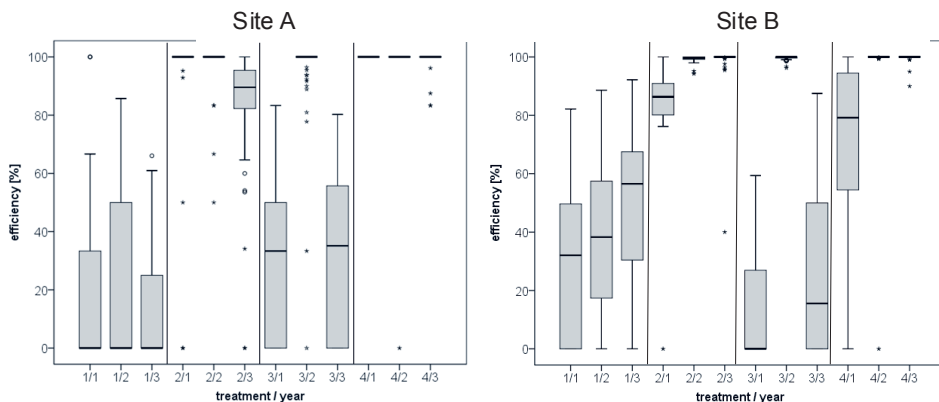


**Fig. 2** *A. spica-venti* density per m<sup>2</sup> at site B (treatments: 1, ALS inhibitor each year; 2, soil-acting herbicide each year; 3, ALS inhibitor year 1+3 and soil-acting herbicide year 2; 4, combination of herbicide groups).

**Abb. 2** *A. spica-venti*-Dichte pro m<sup>2</sup> am Standort B (Behandlungen: 1, ALS-Hemmer in jedem Jahr; 2, Bodenherbizid in jedem Jahr; 3, ALS-Hemmer 1.+3. Jahr und Bodenherbizid 2. Jahr; 4, Kombination von Herbizidgruppen).

### 3.2 Efficacy

Figure 3 shows the efficacies of the treatments on both fields. Therefore the *A. spica-venti* densities before and after the treatment (shown above) were compared. The ALS inhibitor showed low efficacies on both fields in the three years. The effects of the treatment had also a wide range, so that there were grid points with efficacies of 80 % as well as grid points where there was no effect on the *A. spica-venti* density. The slightly lower efficacy in plot 2 at site A in the third year and on site B in the first year was probably caused by unfavorable conditions at the time of application.



**Fig. 3** Herbicide efficiencies on sites A and B (treatments: 1, ALS inhibitor each year; 2, soil-acting herbicide each year; 3, ALS inhibitor year 1+3 and soil-acting herbicide year 2; 4, combination of herbicide groups).

**Abb. 3** Herbizidwirkungsgrade an den Standorten A und B (Behandlungen: 1, ALS-Hemmer in jedem Jahr; 2, Bodenherbizid in jedem Jahr; 3, ALS-Hemmer 1.+3. Jahr und Bodenherbizid 2. Jahr; 4, Kombination von Herbizidgruppen).

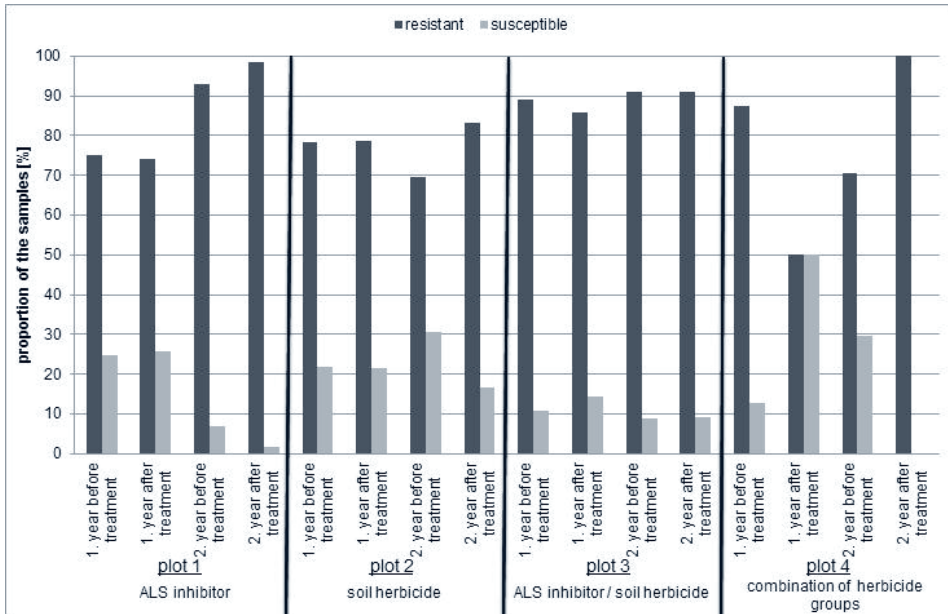
**3.3 Proportion of resistant and susceptible plants**

When *A. spica-venti* plants were found at a grid point, samples were taken before and after the herbicide application. The numbers of samples taken in each plot are shown in Table 1 and 2. These samples were analyzed by pyrosequencing to detect a mutation on the ALS gene, allowing to decide whether the sampled plant was susceptible or resistant against an ALS inhibiting herbicide. In Figure 4 and 5 the proportion of susceptible and resistant samples is shown for the first two years. The sample analysis from the third year was not completed at the time of writing. Plot 1 of field A showed a decreasing number of susceptible plants from the first to the second year. But in plot 3 with the same treatment this development was not seen. Plot 2 shows only slight fluctuations between the years and time of the sample taking. A trend in either direction was not seen. Propositions regarding the development of composition of the population are quite difficult for plot 4 because of the few surviving plants and lesser number of seedlings in the second year. In the first year, only two samples were taken after the treatment on plot 4 and in the second year there was only one sample.

**Tab. 1** Sample size at site A.

**Tab. 1** *Probenumfang am Standort A.*

	1. year before treatment	1. year after treatment	2. year before treatment	2. year after treatment
plot 1	135	66	130	130
plot 2	160	15	108	6
plot 3	160	64	130	22
plot 4	160	2	123	1



**Fig. 4** Proportion of susceptible and resistant *A. spica-venti* samples on site A.

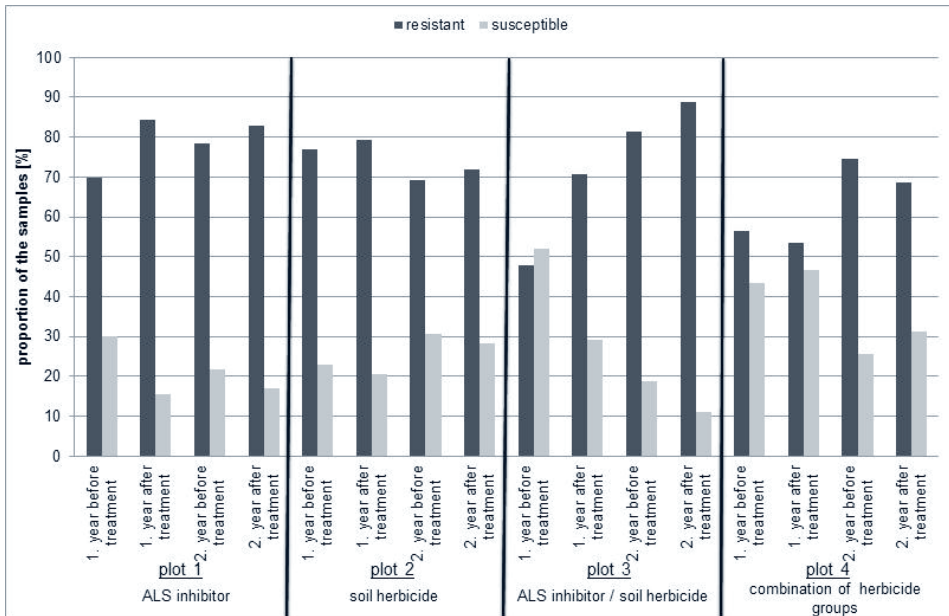
**Abb. 4** *Anteil an sensitiven und resistenten A. spica-venti-Pflanzen am Standort A.*

On field B there was an increase in resistant plant samples in plot 1 and 3. Also plot 4 showed an increase of resistant plants from the first to the second year. Similar to field A, there was no trend seen in either direction on plot 2.

**Tab. 2** Sample size at site B.

**Tab. 2** *Probenumfang am Standort B.*

	1. year before treatment	1. year after treatment	2. year before treatment	2. year after treatment
plot 1	160	64	132	134
plot 2	159	64	130	76
plot 3	120	48	131	47
plot 4	155	58	130	18



**Fig. 5** Proportion of susceptible and resistant *A. spica-venti* plants on site B.

**Abb. 5** Anteil an sensiblen und resistenten *A. spica-venti*-Pflanzen am Standort B.

#### 4. Discussion

The results of the field experiments show that the different treatments had an impact on the density of *A. spica-venti* and also on the genetic composition of the population. So an increase in weed density was seen on both fields on plots where an ALS inhibitor was used. Also a decrease in weed density was seen if no ALS inhibitor was used. But the density is not only influenced by the treatment. Other factors also have a great impact. On field A there was an increase in weed density over all plots in the third year even in the plots where there was a good weed control in the years before. On the other field we observed the opposite. Here, the density declined over all plots in the third year even if there was a low weed control level in the years before. It is important to identify the other factors to give accurate predictions for future weed infestations. These factors could be weather conditions, application date and conditions or the drilling date. Changes in the composition of susceptible and resistant plants were observed on both fields but longer observation periods are needed to identify clear trends.

#### Acknowledgements

The authors wish to thank our partners of BAYER Crop Science for financial support.



## References

- AHMADIAN, A., M. EHN AND S. HOBER, 2006: PYROSEQUENCING: HISTORY, BIOCHEMISTRY AND FUTURE. REVIEW. CLINICA CHIMICA ACTA **363**, 83-94.
- BALL, D.A. AND S.D. MILLER, 1990: WEED SEED POPULATION RESPONSE TO TILLAGE AND HERBICIDE USE IN THREE IRRIGATED CROPPING SEQUENCES. WEED SCIENCE **38**, 511–517.
- BOSTRÖM, U., 1999: TYPE AND TIME OF AUTUMN TILLAGE WITH AND WITHOUT HERBICIDES AT REDUCED RATES IN SOUTHERN SWEDEN - 1. YIELDS AND WEED QUANTITY. SOIL & TILLAGE RESEARCH **50**, 271–281.
- CARDINA, J., E. REGNIER AND K. HARRISON, 1991: LONG-TERM TILLAGE EFFECTS ON SEED BANKS IN THREE OHIO SOILS. WEED SCIENCE **39**, 186–194.
- CORBETT, C.-A.L. AND F.J. TARDIF, 2006: DETECTION OF RESISTANCE TO ACETOLACETATE SYNTHASE INHIBITORS IN WEED WITH EMPHASIS ON DNA-BASED TECHNIQUES: A REVIEW. PEST MANAGEMENT SCIENCE **62**, 584–597.
- HEAP, I., 2011: INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG](http://www.weedscience.org). ACCESSED 28. SEPT 2011.
- MELANDER, B., 1995: IMPACT OF DRILLING DATE ON *APER A SPICA-VENTI* L. AND *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. IN WINTER CEREALS. WEED RESEARCH **35**, 157–166.
- MÜLHARDT, C., 2006: DER EXPERIMENTATOR: MOLEKULARBIOLOGIE, GENOMICS, 5TH EDITION. ELSEVIER SPEKTRUM AKAD. VERL., MÜNCHEN.
- SOUKUP, J., K. NOVÁKOVÁ, P. HAMOUZ AND J. NĀMĚSTEK, 2006: ECOLOGY OF SILKY BENT GRASS (*APER A SPICA-VENTI* (L.) BEAUV.), ITS IMPORTANCE AND CONTROL IN THE CZECH REPUBLIC. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 73–80.
- WALLGREN, B. AND K. AVHOLM, 1978: DORMANCY AND GERMINATION OF *APER A SPICA-VENTI* L. AND *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. SEEDS. SWEDISH JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH **8**, 11–15.
- WARWICK, S.I., L.D BLACK AND B.F. ZILKEY, 1985: BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS. CANADIAN JOURNAL OF PLANT SCIENCE **65**, 711–721.
- ZEMANEK, J., 1980: THE CONTROL OF SILKY BENTGRASS AND DICOTYLEDONOUS WEEDS IN CEREAL CROPS. WHEAT DOCUMENT. BASEL, CIBA GEIGY LTD.



## Impact of multiple resistance mechanisms in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations on the activity of cereal herbicides

*Einfluss von multiplen Resistenzmechanismen in Ackerfuchsschwanz (Alopecurus myosuroides Huds.)-Populationen auf die Wirksamkeit von Getreideherbiziden*

Hubert J. Menne<sup>1\*</sup> & Charlotte Hogrefe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bayer CropScience AG, Industriepark Höchst, H872, 65926 Frankfurt am Main, Germany

<sup>2</sup>An der Hängebank 13, D-30890 Barsinghausen, Germany

\*Corresponding author, hubert.menne@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.007

### Summary

Herbicide resistance to different modes of action is spreading not only in the intensive winter wheat producing areas of Northern Germany, but also in other regions. In this investigation, four selected biotypes of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) from Lower Saxony, Schleswig-Holstein and Baden-Württemberg were tested for resistance to different herbicides in greenhouse monitoring trials. Using the Pyrosequencing™ technology, leaf material of the different biotypes was screened for ACCase and ALS target-site mutations. The resistance mechanism profiles of the tested biotypes were first completed with metabolism studies of selected herbicides. Finally, the effectiveness of different ACCase and ALS herbicides was investigated in dose response studies under controlled conditions. The results of the analysis showed the occurrence of multiple resistance mechanisms – target-site and non-target site – in the different black-grass biotypes. The calculated resistance factors for the herbicides varied between biotypes and occurring resistance mechanisms. Independent of the range of the resistance factors, low levels already caused decreased effectiveness under real field conditions. Despite confirmed target-site and enhanced metabolic resistances, most of the tested herbicide mixtures and sequence applications provided useful efficacy levels. Soil-acting herbicides have become the backbone for controlling heavy infestations of black-grass populations in practice. Especially flufenacet and its mixtures provide high efficacy levels for the reduction of the first grass weed flush. Within the herbicide strategy study, Atlantis WG® appeared as the most effective post emergence applied product, especially on biotypes with metabolic resistances. With regard to missing alternative solutions in the near future, a mid to long-term sustainable crop-production can only be assured with mixtures and sequence applications of different herbicides and modes of action combined with integrated weed management tools.

**Keywords:** ACCase inhibitors, ALS inhibitors, enhanced metabolic resistance, herbicide management strategies, target-site resistance

### Zusammenfassung

Herbizidresistenzen sind nicht mehr nur ein Problem der Winterweizenanbauggebiete in Norddeutschland, sondern kommen vermehrt auch in anderen Getreideanbaugebieten in Deutschland vor. In den vorliegenden Untersuchungen wurden vier ausgesuchte Ackerfuchsschwanzherkünfte aus Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg auf Herbizidresistenz gegenüber verschiedenen Herbiziden in Gewächshausversuchen getestet. Die Ungrassamen und das Pflanzenmaterial wurden mittels Pyrosequencing™ auf ACCase und ALS Target-Site Mutationen untersucht. Das Resistenzprofil der Herkünfte wurde zusätzlich mit Metabolismusstudien zu ausgesuchten Wirkstoffen vervollständigt. Schließlich wurde die Wirksamkeit der Herbizide in Dosis-Wirkungsuntersuchungen unter kontrollierten Bedingungen überprüft. Die Ergebnisse der Analysen zeigten das Vorkommen von multiplen Resistenzmechanismen, sowohl Target-Site als auch Nicht-Target-Site Resistenzmechanismen, in allen untersuchten Herkünften. Die berechneten Resistenzfaktoren für die einzelnen Herbizide variierten zwischen den Herkünften und den nachgewiesenen Resistenzmechanismen. Unter realen Feldbedingungen wurde bereits mit niedrigen Resistenzfaktoren eine unzureichende Wirkung erzielt. Trotzdem konnten durch Mischungen und Sequenzapplikationen von unterschiedlichen grasaktiven Produkten hohe Wirkungsgrade erzielt werden. Bodenwirksame Herbizide sind ein wichtiger Bestandteil der Herbizidmanagementmaßnahmen geworden. Besonders Flufenacet und dessen Mischungsprodukte haben sich als sehr wirksame Bodenwirkstoffe zur Bekämpfung der ersten Auflaufwelle von Ackerfuchsschwanz herausgestellt. In den Untersuchungen zur Herbizidstrategie erwies sich Atlantis WG®, besonders auf Biotypen mit metabolischer Resistenz, als wirkungsstärkstes Nachauflaufferbizid. Dennoch kann eine mittel- bis langfristig nachhaltige Pflanzenproduktion, mit Hinsicht auf kurzfristig fehlende alternative Lösungen, nur durch eine integrierte Anwendung von Mischungen und Sequenzapplikation von unterschiedlichen Herbiziden und Maßnahmen der Produktionstechnik erfolgreich sein.

**Stichwörter:** ACCase Inhibitoren, ALS Inhibitoren, Herbizidmanagement Strategien, metabolische Resistenz, target-site Resistenz

## 1. Introduction

Herbicide resistance in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) has become a common threat in the agricultural areas of Germany. The selection and distribution has taken place slower than in other European countries like France and UK in the last decades (MOSS, 1987; CHAUVEL and GAZQUEZ, 1990; HEAP, 2011). Changes in production systems such as dominance of winter crops with mono-cropping of winter wheat, increase of minimum tillage practices, early sowing dates as well as economic pressure due to low commodity prices and limited herbicide options, have caused a tremendous selection pressure within weed populations in the last years. More and more locations are found with decreased sensitivity to different compounds and site of action classes. Control options become more and more limited because of loss of compounds due to European regulations and a lack of new innovations by the industries. Short to mid-term, farmers have to manage the weed infestation with the existing and available management tools. In most cases, management decisions are taken by experience and cost pressure, without exact knowledge of the sensitivity properties of the weed populations. Monitoring investigations are only conducted in cases of farmers' complaints about product effectiveness, and therefore, in cases of positive confirmation, it is as a rule too late for preventive measures. Ring tests have shown that target-site resistances are easier to identify than non-target-site resistance mechanisms (PETERSEN et al., 2010). But it is assumed that non-target-site resistance mechanisms are the majority of herbicide resistances in farmers' fields. Against this background, there is some speculation if that is really the case. Random monitoring has not been carried out so far with a detailed analysis of possible resistance mechanisms. With knowledge of findings by DELYE et al. (2007) and HESS et al. (2012), the occurrence of target-site resistance mechanism is often underestimated. In case of a general approval of this assumption, it must be questioned why there have not been more farmer complaints. It can be assumed that in most cases the number of surviving plants can be neglected. However, the selection process is ongoing. The identification of single resistance mechanism in a weed population is insufficient for giving helpful management advice to farmers. Only a comprehensive diagnosis of a population regarding target-site and non-target-site resistance mechanism can provide useful information for an advanced management recommendation. Such comparable studies have not been conducted before. In 2010, selected *A. myosuroides* biotypes were extensively investigated regarding involved resistance mechanisms and their influence on the activity of commonly used herbicides. Additional outdoor studies should demonstrate the effectiveness of herbicide management strategies for the control of these resistant *A. myosuroides* biotypes.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Selection of seed samples and bioassays

In monitoring studies, four *A. myosuroides* biotypes were identified with suspected lower sensitivity to most of the tested herbicides (Tab. 1). Dose response studies with seeds of all four locations were conducted under controlled glasshouse conditions.

The seed samples were cleaned, pre-germinated and sown in 8 cm pots (Fa. Jiffy) filled with a standard field soil (loamy silt) with four repetitions each. The pots were placed in a glasshouse with 60 % humidity, 22 °C day, 15 °C night and 12 h light with minimum 2200 µE/m<sup>2</sup>s (at 555 nm; sodium high pressure lamps if necessary). After germination of the seeds the plants were thinned to 7 plants per pot. Five sensitive reference biotypes were used for verification. Five herbicides [Ralon Super<sup>®</sup> (fenoxaprop-p-ethyl + mefenpyr-diethyl) + FHS (adjuvant), Axial 50<sup>®</sup> (pinoxaden + cloquintocet-mexyl), Atlantis WG<sup>®</sup> (mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl) + FHS, Lexus 50 DF<sup>®</sup> (flupyrsulfuron-methyl) + Trend 90 and Broadway<sup>®</sup> (pyroxsulam + florasulam + cloquintocet-mexyl) + Broadway FHS of two different modes of action] were applied at growth stage BBCH 12-21 with a standard laboratory track sprayer (teejet nozzle XR8002, pressure 2.4 bar, water amount 300 l/ha). All products were sprayed with seven different dose rates for dose response analysis. The

evaluation was done three weeks after application by visual assessment of the damages (%) in comparison with the untreated control.

**Tab. 1** Characterisation of herbicide resistance levels in different black-grass biotypes – results from previous monitoring studies.

**Tab. 1** *Einstufung der verschiedenen Ackerfuchsschwanzbiotypen in Herbizidresistenzklassen – Ergebnisse aus vorangegangenen Monitoringstudien.*

		biotype 1	biotype 2	biotype 3	biotype 4	resistant standard	sensitive standard
ACCcase	Ralon Super	RRR	RRR	RRR	RR	RR	S
	Topik EC100	RRR	RRR	RRR	RR	RR	S
	Axial 50	RRR	RRR	RRR	RR	RR	S
	Traxos 50	RRR	RRR	RRR	RR	RR	S
	Focus ultra	RRR	S	RRR	S	S	S
ALS	Atlantis WG	RR	RR	S	RRR	S	S
	Lexus 50 DF	RRR	RR	RR	RRR	RR	S
	Broadway	RRR	RR	RR	RRR	RR	S

(The analysis of the results followed the 'R' system of Moss et al. (1999); Topik EC100<sup>®</sup> and Focus ultra<sup>®</sup> were only tested in the monitoring)

Additionally, different herbicide mixtures and sequence application strategies were tested with their standard field dose rates under outdoor conditions (application rates see Tab. 4). Seeds of three of the tested biotypes were sown in 16 cm plastic pots (Fa. Pöppelmann) filled with a standard field soil (loamy silt) with three repetitions each. The pots/plants were treated according to the different strategies (Tab. 4) at growth stage BBCH 10-(11), 12-21 and/or (21)-25 using a standard laboratory track sprayer (see above). Additional to the above mentioned products, the following products were used: Cadou SC<sup>®</sup> (flufenacet), Bacara Forte<sup>®</sup> (flufenact + flurtamone + diflufenican), Herold SC<sup>®</sup> (flufenacet + diflufenican), Malibu<sup>®</sup> (flufenacet + pendimethalin), Stomp Aqua<sup>®</sup> (pendimethalin), Husar OD<sup>®</sup> (iodosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl) and Traxos 50<sup>®</sup> (clodinafop-propagyl + pinoxaden + cloquintocet-mexyl). The evaluation was done three weeks after application by visual assessment of the damages (%) in comparison with the untreated control.

[Atlantis WG<sup>®</sup>, Bacara Forte<sup>®</sup>, Cadou SC<sup>®</sup>, Herold SC<sup>®</sup>, Husar OD<sup>®</sup>, Ralon Super<sup>®</sup> registered products of Bayer CropScience Germany GmbH. Focus ultra<sup>®</sup> Malibu<sup>®</sup> Stomp Aqua<sup>®</sup> registered products of BASF SE. Axial<sup>®</sup>, Topik EC100<sup>®</sup> and Traxos 50<sup>®</sup> registered products of Syngenta Agro GmbH. Lexus 50 DF<sup>®</sup> registered product of DuPont de Nemours Germany GmbH. Broadway<sup>®</sup> registered product of Dow AgroSciences GmbH.]

## 2.2 Analysis of resistance alleles

In 2010, plant samples from the four selected locations were taken to determine the resistance status in the *A. myosuroides* populations (Tab. 2). Alleles of the chloroplastic ACCase gene as well as the ALS gene of *A. myosuroides* were analyzed using the Pyrosequencing<sup>™</sup> technology (NORDSTRÖM et al., 2000) as described by WAGNER et al. (2007) and MENNE et al. (2008).

DNA was extracted from each individual plant of each biotype using a commercial DNA extraction kit. PCR products were purified and analyzed using the Pyrosequencer PSQ-96 according to the manufacturer's instructions (Pyrosequencing, Inc, Uppsala, Sweden). Results are given as mean percentage of allele frequencies. For herbicide metabolism analysis, two tillers of each plant were incubated with radio labeled fenoxaprop-p-ethyl and mesosulfuron-methyl following the description by RUIZ-SANTAELLA et al. (2010). Extracts of the plant samples were analyzed using HPLC analysis with a Ramona 92 detector (Fa. Raytest).

**Tab. 2** Genotypic and physiological characterisation of herbicide resistance in different black-grass biotypes – data in % of the confirmed findings.

**Tab. 2** *Genotypische und physiologische Charakterisierung der Herbizidresistenz bei verschiedenen Ackerfuchsschwanzbiotypen – Ergebnisse in % der nachgewiesenen Resistenzen.*

		biotype 1	biotype 2	biotype 3	biotype 4
ACCase	I1781L	25% heterozygote	-	57% heterozygote	-
	W2027C	-	72% heterozygote	-	-
	D2078G	25% heterozygote 25% homozygote	-	28% heterozygote	-
ALS	P197T	57% heterozygote	-	-	-
	W574L	-	-	-	38% heterozygote 13% homozygote
EMR	fenoxaprop-p-ethyl	50% intermediate	13% intermediate*	12% intermediate	50% intermediate
	mesosulfuron-methyl	88% intermediate 12% high	28% intermediate 58% high	76% intermediate 12% high	88% intermediate

(\*Results from 2008; EMR = enhanced metabolism resistance)

### 2.3 Statistical analysis

The GNU-licensed statistic program "R" and the additional "drc" package (RITZ and STREIBIG, 2005) were used for the evaluation of the dose response results. The data were calculated with a non-linear regression and the four-, three- and two-parameter log-logistical model following KNEZEVIC et al. (2007). Further dose-response models were checked and excluded following a variance analyses (significance level  $\alpha = 5\%$ ). For comparison of the dose response curves, the ED<sub>50</sub> and ED<sub>90</sub> values, as well as the resistance factors (RF), were calculated.

## 3. Results

### 3.1 Description of the selected biotypes with suspected resistance profile, bioassay and single plant analysis

All four different biotypes represent population mixtures of survivors from farmers' fields. The selected biotypes, which were suspicious regarding their sensitivity to different products in the field, showed resistance to most of the tested herbicides in the monitoring (Tab. 1). The aryloxyphenoxypropionate (Fop) and phenylpyrazoline (Den) herbicides failed either completely (RRR) or showed only side effects (RR) on the selected biotypes. Only the cyclohexandione (Dim) compound was able to control the biotypes 2 and 4. The analysis of the resistance mechanisms (Tab. 2) demonstrated the differences between the individual biotypes. Pyrosequencing analysis detected different target-site mutations in the biotypes 1-3. Two mutations Ile-1781-Leu and Asp-2078-Gly were identified in the biotypes 1 and 3, whereas a Trp-2027-Cys mutation was found in biotype 2. The percentage of these target-site mutations was higher than 50 % in the given populations. A certain proportion of EMR (enhanced metabolism resistance) could be identified too, especially in biotype 1 with 50 % intermediate EMR for fenoxaprop-p-ethyl. In contradiction to the first three biotypes, the ACCase compounds still showed side effects on biotype 4. This biotype also contained a certain level of 50 % intermediate EMR to fenoxaprop-p-ethyl. In most cases, the ALS compounds failed completely in controlling biotypes 1 and 4 (RR-RRR). The pyrosequencing analysis detected a percentage of 57 % of the Pro-197-Thr mutation for the biotype 1 and a percentage of 51 % of the Trp-574-Leu mutation in biotype 4. The populations of these biotypes also contained a certain level of EMR ( $\geq 88\%$  intermediate) to mesosulfuron-methyl. Biotype 2 was insufficient (RR) controlled by all three ALS compounds. With 58 %, the results showed a high EMR level of mesosulfuron-methyl. In contradiction, the efficacy of Atlantis WG was still sufficient for biotype 3 despite an intermediate EMR

level of 76 % for mesosulfuron-methyl. The compounds Lexus 50 DF and Broadway provided only side effects on this biotype.

### 3.2 Resistance profile of selected biotypes based on dose response studies

The results of the dose response studies were compared to the mean values,  $ED_{50}$  and  $ED_{90}$ , of five different sensitive biotypes. The comparison of the mean values (Fig. 1) illustrates the variability between the different "sensitive" biotypes. Highest differences were obtained for Lexus 50 DF with a range of +98 % to -47 %. Differences to the other compounds were lower. The dose response results for Ralon Super and Axial 50 varied between biotypes and the occurring resistance mechanisms. However the graduation between the biotypes was the same. The calculated resistance factors for Axial 50 were always lower as compared to Ralon Super (Tab. 3). They varied on the  $ED_{50}$  level between RF 6-12 for Axial 50 and RF 14-144 for Ralon Super. Differences in the slopes of the dose-response curves of the resistant biotypes as compared to the sensitive biotypes caused much higher resistance factors based on the  $ED_{90}$  level for both compounds (RF 19-168 for Axial 50 and RF 76->3000 for Ralon Super). The most moderate resistance factors were observed for biotype 4, where only an intermediate EMR to fenoxaprop-p-ethyl could be identified. The Trp-2027-Cys mutation in biotype 2 did not change the activity of Axial 50 very much whereas the effectivity of Ralon Super was much more influenced, and the resistance factors increased by a factor of 2 to 8. The biotypes 1 and 3 with two mutations (Ile-1781-Leu and Asp-2078-Gly) showed the highest resistance factors for the ACCase compounds (RF 7-12 and 144-168 for Axial 50, RF 88-144 and >3000 for Ralon Super). Differences in the resistance factors for the ALS inhibitors were much higher between biotypes with different resistance mechanisms (Tab. 3). However the graduation between biotypes, resistance mechanisms and compounds, were the same in most cases. Biotypes 2 and 3 with only moderate to high EMR to mesosulfuron-methyl showed the lowest resistance factors (RF 3-22 and 4-54 for Atlantis WG, 6-11 and 14-145 for Lexus 50 DF and 14-60 and 25-489 for Broadway). Target-site mutations in the ALS gene caused much higher resistance factors. The Pro-197-Thr mutation in biotype 1 increased the values to RF 101 and 514 for Atlantis WG, 429 and >3000 for Lexus 50 DF and 419 and 1562 for Broadway. The Trp-574-Gly mutation caused an insensitivity to all products. With a 50 fold application rate it was not possible to reach even a 50 % efficacy. The  $ED_{50}$  as well as  $ED_{90}$  values had to be interpolated with the statistical program. The calculated resistance factors were higher than RF >3000.

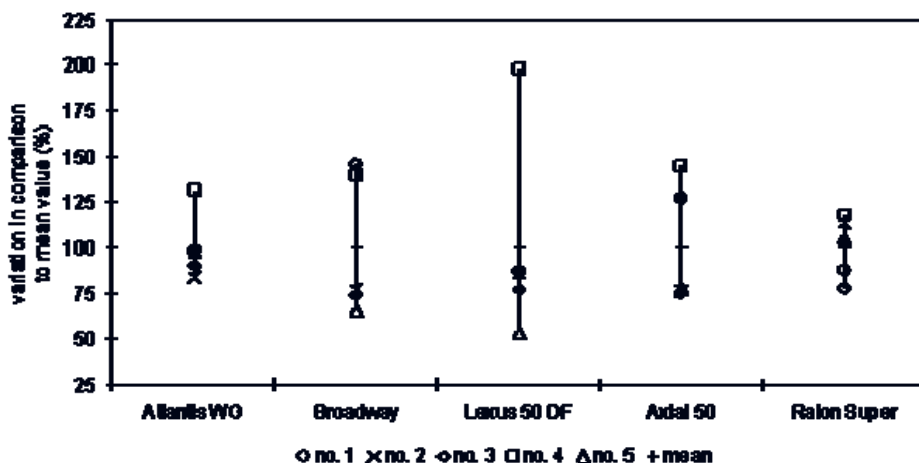


Fig. 1 Percentage variation of  $ED_{90}$  values of five different sensitive *A. myosuroides* biotypes in comparison to the calculated mean value.

Abb. 1 Prozentualer Vergleich der  $ED_{90}$  Werte von fünf unterschiedlichen sensitiven *A. myosuroides*-Herkünften im Vergleich zum berechneten Mittelwert.

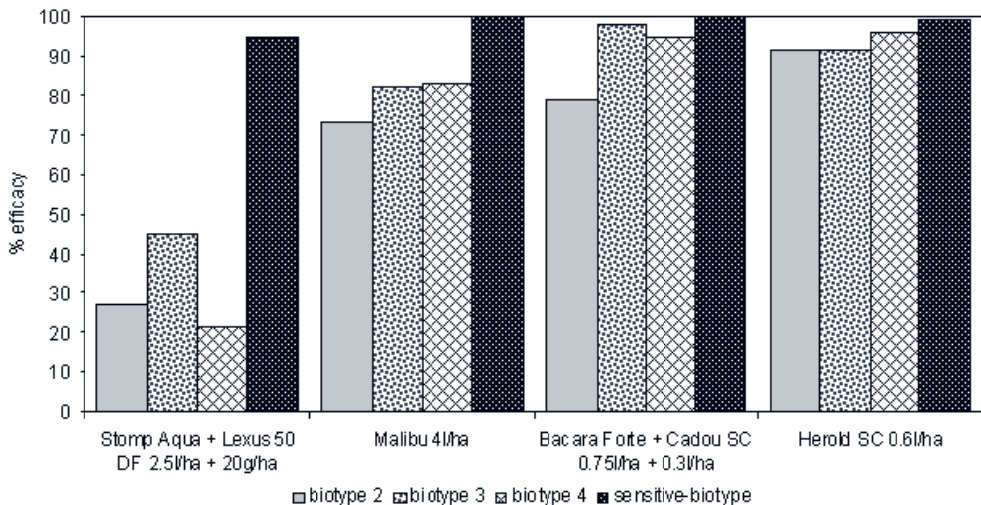
**Tab. 3** Resistance factors (RF) based on ED<sub>50</sub> and ED<sub>90</sub> values for four different *A. myosuroides* biotypes and five different herbicides.

**Tab. 3** Resistenzfaktoren (RF) auf Basis der ED<sub>50</sub> und ED<sub>90</sub> Werte von vier unterschiedlichen *A. myosuroides*-Biotypen und fünf unterschiedlichen Herbiziden.

	biotype 1		biotype 2		biotype 3		biotype 4	
herbicide	RF ED <sub>50</sub>	RF ED <sub>90</sub>	RF ED <sub>50</sub>	RF ED <sub>90</sub>	RF ED <sub>50</sub>	RF ED <sub>90</sub>	RF ED <sub>50</sub>	RF ED <sub>90</sub>
Ralon Super	88	>3000	34	640	144	>3000	14	76
Axial 50	7	168	10	20	12	144	6	19
Atlantis WG	101	514	22	54	3	4	2908	>3000
Lexus 50 DF	429	>3000	11	145	6	14	>3000	>3000
Broadway	419	1562	60	489	14	25	>3000	>3000

### 3.3 Herbicide strategies for the control of selected biotypes with multiple resistance mechanisms

The effectiveness of different herbicide management strategies was tested in an outdoor pot trial.



**Fig. 2** Effectiveness of different soil acting herbicides on the control of *A. myosuroides* biotypes with EMR and target-site resistances to ACCase/ALS inhibitors in an outdoor pot trial.

**Abb. 2** Wirksamkeit von Bodenwirkstoffen zur Kontrolle von *A. myosuroides*-Biotypen mit EMR und Target-Site Resistenzen gegenüber ACCase/ALS Inhibitoren im Topfversuch unter Außenbedingungen.



**Tab. 4** Effectiveness of different weed management strategies for the control of *A. myosuroides* biotypes with EMR and target-site resistances to ACCase/ALS inhibitors

**Tab. 4** Wirksamkeit unterschiedlicher Unkrautbekämpfungsstrategien zur Kontrolle von *A. myosuroides*-Biotypen mit EMR und Target-Site Resistenzen gegenüber ACCase/ALS Inhibitoren

weed management strategy		applications-time		efficacy in %				costs €/ha*	
preem. applied herbicide	postem. applied herbicide			biotype 2	biotype 3	biotype 4	sensitive biotype		
Herold SC 0.6 l/ha	Atlantis WG 0.5 kg/ha	A		C	■	■	■	■	119
Bacara Forte + Cadou SC 0.75 + 0.3 l/ha	Atlantis WG 0.5 kg/ha	A		C	■	■	■	■	120
	Traxos 50 "fb" Atlantis WG 1.2 l/ha fb 0.5 kg/ha	A	B	C	■	■	■	■	163
	Atlantis WG + Hussar OD 0.5 kg/ha + 0.1 l/ha	A		C	■	■	■	■	168
Malibu 4 l/ha	Atlantis WG 0.5 kg/ha	A		C	■	■	■	■	121
	Traxos 50 "fb" Atlantis WG 1.2 l/ha fb 0.5 kg/ha	A	B	C	■	■	■	■	164
	Traxos 50 1.2 l/ha	A	B		■	■	■	■	102
Stomp Aqua + Lexus 50 DF 2.5 l/ha + 20 g/ha	Traxos 50 1.2 l/ha	A	B		■	■	■	■	96
	Broadway 0.22 kg/ha	A		C	■	■	■	■	118
	Atlantis WG 0.5 kg/ha	A		C	■	■	■	■	114

very good (95-100)	good (90-94)	sufficient (80-89)	side effects (70-79)	weak (50-69)	insufficient (<50)
-----------------------	-----------------	-----------------------	-------------------------	-----------------	-----------------------

(A = BBCH 10-11); B = BBCH 12-21; C = BBCH (21)-25; Atlantis WG, Lexus 50 DF and Broadway were always applied with their corresponding adjuvants; fb = followed by; \*BEISELEN, 2010)

This study could only be conducted with three biotypes due to missing germination of biotype 1 in the outdoor experiment. The leaf-acting herbicides were applied either in mixtures or in sequence with products of alternative sites of action. All sequences with flufenacet based products (Herold SC, Bacara Forte + Cadou SC and Malibu) resulted in control of roughly  $\geq 80\%$  for all biotypes tested (Fig. 2). All strategies with Stomp Aqua + Lexus 50 DF were insufficient, especially on biotypes with target-site resistances or higher EMR (Tab. 4). The biotype 2 with high EMR and biotype 4 with ALS target-site resistance were the most difficult to control biotypes. Due to the high level of efficacy of flufenacet based products, the additional effect of the post applied product was rather low. The impact was much higher in sequence with Stomp Aqua + Lexus 50 DF. The efficacy level for biotype 2 could be doubled and the major control level for biotype 3 was obtained by Broadway or Atlantis WG. The cost calculation, based on a price list of BEISELEN (2010), reflects the cost structure of the applied product strategies. Neither cheap nor expensive single solutions ensure sufficient control of grass weeds with multiple resistance mechanisms.

#### 4. Discussion

##### 4.1 Resistance profile of selected biotypes and dose response studies

Most dose-response analyses which are described in scientific publications had been conducted with one or two different, so called, "sensitive" biotypes for comparison. As scientists, we can ask whether it is admissible to use only one or two biotypes. From the authors' viewpoint, concerning this question, there is no defined standard. Most researchers are dependent on external suppliers for their biotypes. The origin of these populations is unknown in most cases. An exact definition of „sensitivity“, however, is not available. Therefore, the border area between natural variation of

sensitivity of populations and initial „insensitivity“ or possible resistance is fluid. A resistance confirmation based on a single biotest with more or less accurate dose-response analysis is not sufficient. At this point, work should be proceeded following the corresponding guideline of HEAP (2005). Within these guidelines, it is recommended that: „a better scientific view point would be that a population differs significantly in response to a herbicide when compared to the average response from numerous populations“, although the exact number is not defined here. In our studies of the dose-response analysis, the mean of five different, so called, „sensitive“ biotypes was calculated for comparison. The comparison clarifies the influence of variation in sensitivity of the different biotypes. Highest differences were obtained for Lexus 50 DF with a range of +98 % to -47 %. The use of either one or the other sensitive biotype would cause e.g. in biotype 2 differences in the RF values of factor 2 based on ED<sub>50</sub> values and factor 4 based on ED<sub>90</sub> values. The most „insensitive“ sensitive biotype had a RF value of 4 (based on ED<sub>90</sub>) compared to the most „sensitive“ sensitive biotype.

The „quality“ of the dose response curves with their calculated slopes and ED<sub>50</sub> and ED<sub>90</sub> values is dependent, among other things, on the accuracy of the study and the chosen dose rates. STREIBIG (2011) pointed out that a minimum of six to seven dose rates are needed for an accurate dose response analysis. This is also a general flaw of many research studies. Three dose rates each should be above and below the expected ED<sub>50</sub> value. These requirements could not be met in all cases of our own studies despite previous pre-trials which had been conducted.

The results of the dose response studies for Ralon Super and Axial 50 were not directly in line with the efficacy results of the monitoring. Both herbicides failed either completely (RRR) or showed only side effects (RR) on the selected biotypes. However, the scientific viewpoint unveils essential differences between both products. As expected, the resistance factors for the compounds to biotype 4 with an intermediate level of EMR to fenoxaprop-p-ethyl had the lowest values (RF 6 and 14 for ED<sub>50</sub>). The different occurring target-site mutations influenced the efficacy of Ralon Super much more than the efficacy of Axial 50. None of these three biotypes could be controlled with 50fold of the recommended dose rate of Ralon Super. Even the ED<sub>90</sub> could not be reached.

The Ile-1781-Leu in addition with Asp-2078-Gly mutations caused much higher resistance factors than the Trp-2027-Cys mutation (RF 34 compared to 88 and 144 for ED<sub>50</sub>). This ranking corresponds to previous findings of DELYE et al. (2008). They concluded that all five known target site mutations in *A. myosuroides* confer resistance to fenoxaprop-p-ethyl. PETIT et al. (2010) showed for the first time that all three mutations result in resistance to pinoxaden as well. The resistance factors of Axial 50 for these mutations were much lower in our studies than for Ralon Super, especially if calculated on the basis of the ED<sub>50</sub> values (RF 7-12). In general, differences became more obvious for RF values based of ED<sub>90</sub> values (RF 20-168). The slope of the dose response curves for the biotypes 1 and 3 with Ile-1781-Leu and Asp-2078-Gly mutations was much flatter than for the Trp-2027-Cys mutation. The dose response curve of Axial 50 for the Trp-2027-Cys mutation looked similar to the curve for biotype 4 with EMR, like a sensitivity shift. Axial 50 was not yet applied on the location of biotype 2, but possible cross-resistance to EMR which was found for mesosulfuron-methyl and fenoxaprop-p-ethyl cannot be excluded. However the metabolism rate for fenoxaprop-p-ethyl was rather low. Our results and PETIT et al. (2010) findings also suspect that the Trp-2027-Cys mutation is the major cause for the decreased sensitivity of Axial 50.

Resistance to ALS inhibitors is not a new phenomenon in *A. myosuroides*. First observations were reported from France and UK in 1983/1984, and from Germany in 2001 (HEAP, 2011). These early resistance findings (for flupyrsulfuron), especially in Germany, were mainly caused by EMR in *A. myosuroides* populations which were preselected by PS II and ACCase inhibitors in the years before. The introduction of Atlantis WG in 2004 and Broadway in 2008 additionally increased the selection pressure in the last years. Differences in the resistance mechanism of the four biotypes investigated caused high differences in the biological activity of the herbicides. As expected, EMR resulted in much lower resistance factors (RF 3-60 based on ED<sub>50</sub>) than the target site mutations (RF 101->3000 based on ED<sub>50</sub>). Surprisingly the resistance factors for Broadway were always higher than for Lexus and Atlantis. Actually the effectiveness of Broadway in controlling *A. myosuroides* is judged as higher

compared to Lexus. Based on the dose response results, a resistance factor of RF ~10 for Atlantis WG and Broadway resp. RF 4 for Lexus is needed to observe a decreased sensitivity with the recommended dose rates. This high biological effectiveness of Atlantis WG is the reason that the moderate resistance factor of RF 4 (based on ED<sub>90</sub>) is not yet of concern for the farmer of biotype 3. The Pro-197-Thr mutation caused high but much lower resistance factors than the Trp-574-Gly mutation. The Trp-574-Gly position is essential for the binding site of most of the ALS inhibitors and therefore causes high resistance factors. An efficacy level of 50 % could not be reached with 50fold of the recommended dose rate for all three compounds. Such high resistance factors (RF >3000) were also found e.g. with RF >4100 on enzyme level by PATZOLDT et al. (2001) for a dicot weed species. Earlier studies with a Trp-574-Gly mutation in *Apera spica-venti* showed RF values of only 7 resp. 13 for mesosulfuron-methyl and iodosulfuron-methyl (BOSCH, 2007) which is unusually low. Pro-197-Thr is described as unique for sulfonyleurea herbicides. Cross-resistance to others are likely, but of low level (RF <10) especially for imidazolinone herbicides (TRANSEL and WRIGHT, 2002). The biotype 1 was the only biotype where Broadway showed slightly lower resistance levels than Lexus 50 DF (RF 419 compared to RF 429 based on ED<sub>50</sub>). However based on the resistance level it can be concluded that the observed Pro-197-Thr mutation caused a clear cross-resistance to Broadway, which includes two compounds out of the triazolopyrimidines. It is remarkable that the herbicide and crop rotation history did not vary very much between all four locations. All farmers used 4-6 times ALS compounds for *A. myosuroides* control in cereals within the last 6-8 years. Independent of the level of the resistance factors for the individual products and biotypes, in most cases low resistance factors caused already insufficient control in agricultural practice.

#### **4.2 Herbicide strategies for the control of selected biotypes with multiple resistance mechanisms**

Herbicides are effective and convenient weed management tools and make a major contribution to agricultural productivity. Experience shows that despite the overreliance on single herbicides or herbicides of the same site of action, which likely result in resistant weed populations, they remain the preferred weed management options for farmers. The lack of new herbicides with new sites of action and the loss of valuable compounds due to regulations increases the pressure on the remaining products. Multiple resistance mechanisms in weed populations become more and more reality in practice. Single herbicide applications alone or in mixtures are not sufficient anymore. Therefore, resistance management strategies cost the farmers additional money. Grass weed populations with high infestations and multiple resistance mechanisms can not be managed mid to long-term with herbicides only. Integrated weed management options need to be established including technical production measures. Short term useful remaining tools have to be combined, like mixtures and sequence applications of products with different sites of action and with the highest efficiency potential.

In the last years, soil-acting herbicides have become the backbone for the control of heavy infestations of *A. myosuroides* populations in practice. Especially flufenacet based products had the highest and most reliable efficacy potential in our research studies and also in other studies (MOSS and HULL, 2009; MENNE et al., 2012). Moss and HULL (2009) could demonstrate that flufenacet and its mixtures had the lowest variability and highest efficacy ranking of all soil-applied herbicides tested. The herbicide strategy trial showed that all other leaf-acting herbicides could still provide a certain level of control to all biotypes tested because the seed samples consist of a population mixture. In the herbicide strategy study, Atlantis WG appeared as the most effective post-emergence applied product, especially on biotypes with metabolic resistances. However reaching the last few percentages, which are needed for a sufficient control level, are cost intensive. Therefore on locations with multiple resistances the weed management becomes more complicate and challenging for the advisors and to the farmers practice and the farmers themselves.

#### **References**

BOSCH, B., 2007: AUFKLÄRUNG DER URSACHEN VON RESISTENZ GEGEN ALS-INHIBITOREN BEI BIOTYPEN DES WINDHALMS (*APERASpica-venti* (L.) P. Beauv.). DIPLOMARBEIT.

- CHAUVEL, B. AND J. GASQUEZ. 1990: RESISTANCE TO SUBSTITUTED UREAS: THE CASE OF BLACKGRASS. *DEFENSE DES VEGETAUX* **44**, 22-27.
- DELYE, C., Y. MENCHARI, J.-P. GUILLEMIN, A. MATEJCEK, S. MICHEL, C. CAMILLERI AND B. CHAUVEL, 2007: STATUS OF BLACK GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*) RESISTANCE TO ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITORS IN FRANCE. *WEED RESEARCH* **47**, 95-105.
- DELYE, C., A. MATEJCEK AND S. MICHEL, 2008: CROSS-RESISTANCE PATTERNS TO ACCASE-INHIBITING HERBICIDES CONFERRED BY MUTANT ACCASE ISOFORMS IN *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. (BLACK-GRASS), RE-EXAMINED AT THE RECOMMENDED HERBICIDE FIELD RATE. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **64**, 1179–1186.
- HEAP, I., 2005: CRITERIA FOR CONFIRMATION OF HERBICIDE-RESISTANT WEEDS - WITH SPECIFIC EMPHASIS ON CONFIRMING LOW LEVEL RESISTANCE. ONLINE: WWW.WEEDSCIENCE.COM.
- HEAP, I., 2011: THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. ONLINE: WWW.WEEDSCIENCE.ORG, OCTOBER 2011.
- HESS, M., R. BEFFA, J. KAISER, B. LABER, H. MENNE AND H. STREK, 2012: STATUS AND DEVELOPMENT OF ACCASE AND ALS RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) IN NEIGHBORING FIELDS IN GERMANY. *JULIUS-KÜHN-ARCHIV* **434**, 163-170.
- KNEZEVIC, S.Z., J. STREIBIG AND C. RITZ, 2007: UTILIZING R SOFTWARE PACKAGE FOR DOSE-RESPONSE STUDIES: THE CONCEPT AND DATA ANALYSIS. *WEED TECHNOLOGY* **21/3**, 840-848.
- MENNE H.J., J. WAGNER, C. SCHLEICH-SAIDFAR, J.H. HOPPE, B. ZANGE AND M. BARTELS, 2008: TARGET-SITE RESISTANCE IN BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) TO ACCASE INHIBITING HERBICIDES IN NORTHERN GERMANY – ARE THERE CORRELATING FACTORS IN THE AGRONOMIC PRODUCTION SYSTEMS? *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION SPECIAL Issue XXI*, 31-36.
- 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.
- MOSS, S.R., 1987: HERBICIDE RESISTANCE IN BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*). *PROCEEDINGS BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE WEEDS* **3**, 879-886.
- MOSS, S.R. AND R. HULL, 2009: THE VALUE OF PRE-EMERGENCE HERBICIDES FOR COMBATING HERBICIDE-RESISTANT *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK-GRASS). *ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY* **91**, 1-8
- NORDSTRÖM, T., M. RONAGHI, L. FORSBERG, U. DE FAIRE, R. MORGENSTERN AND P. NYREN, 2000: DIRECT ANALYSIS OF SINGLE-NUCLEOTIDE POLYMORPHISM ON DOUBLESTRANDED DNA BY PYROSEQUENCING. *BIOTECHNOLOGY AND APPLIED BIOCHEMISTRY* **31**, 107-112.
- PETERSEN, J., K. GEHRING, B. GEROWITT, H. MENNE AND H. NORDMEYER, 2010: ERGEBNISSE EINES RINGTESTES ZUR FESTSTELLUNG DER HERBIZIDRESISTENZ BEIM ACKERFUCHSSCHWANZ. 57. DEUTSCHE PFLANZENSCHUTZTAGUNG, JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**.
- PETTIT, C., B. GUILLAUME, F. PERNIN AND C. DELYE, 2010: PREVALENCE OF CROSS- OR MULTIPLE RESISTANCE TO THE ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITORS FENOXAPROP, CLODINAFOP AND PINOXADEN IN BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) IN FRANCE. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **66**, 168-177.
- RITZ, C. AND J.C. STREIBIG, 2005: BIOASSAY ANALYSIS USING R. *JOURNAL OF STATISTICAL SOFTWARE* **12/5**, 1-22.
- RUIZ-SANTAELLA J.P., B. LABER, W. SCHULTE, H. MENNE, J. KAISER, M. HESS, H.-J. STREK AND H. KRAEHMER, 2010: MODERN TOOLS TO DIAGNOSE HERBICIDE RESISTANCE. PAN-AMERICAN WEED RESISTANCE CONFERENCE. MIAMI, USA.
- STREIBIG, J.C., 2011: PERSONAL COMMUNICATION.
- TRANEL, P.J. AND T.R. WRIGHT, 2002: RESISTANCE OF WEEDS TO ALS-INHIBITING HERBICIDES: WHAT HAVE WE LEARNED? *WEED SCIENCE* **50**, 700-712.
- WAGNER J., B. LABER AND H.J. MENNE, 2007: THE VALUE OF MOLECULAR-BASED TECHNOLOGIES FOR DETECTION OF TARGET-SITE RESISTANCE IN WEEDS TO ACCASE AND ALS INHIBITING HERBICIDES. THE XVI INTERNATIONAL PLANT PROTECTION CONGRESS, 15-18 OCTOBER, GLASGOW, UK.

## Weed resistance diagnostic technologies to detect herbicide resistance in cereal-growing areas. A review

*Diagnostotechnologien zur Detektion von Herbizidresistenz im Getreideanbau. Ein Überblick*

Roland Beffa\*, Andrea Figge, Lothar Lorentz, Martin Hess, Bernd Laber, Juan Pedro Ruiz-Santaella & Harry Streck

Bayer CropScience AG Industriepark Höchst, H872, 65926 Frankfurt am Main, Germany

\*Corresponding author, roland.beffa@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.008

### Summary

Cereals are major crops used for food and feed. By 2050, the world population is expected to be close to 10 billion requiring a doubling of the food production from a fixed area of arable land. The control of weeds in cropping systems is one key step to optimize yield. In the last several decades, herbicides have become the most effective management tool for adequate weed control. However, their repetitive use, as well as the limited number of modes of action (MoA) available, has led to the development of resistance in weeds. It has become imperative to change practices that lead to the development of weed resistance in order to protect those MoAs which are still effective in cereals. Several mechanisms of resistance have been developed by weeds to survive herbicide applications. Among them, gene mutations reducing or inhibiting herbicide binding by conferring amino-acid changes in a target enzyme (Target Site Resistance, TSR) and detoxification of the herbicide (Enhanced Metabolic Resistance, EMR) are the main mechanisms in key grass weeds found in cereal crops. These two mechanisms have been extensively studied during the last years and, thus, enabled the development of analytical tools for resistance diagnosis. Sustainable strategies for weed management using herbicides rely on accurate resistance diagnostics that permit optimization of treatment solutions that will lead to herbicide longevity. Greenhouse and laboratory tests used for resistance diagnosis will be reviewed with an emphasis on biochemical and molecular biology technologies. Cases of resistance to ACCase inhibitor herbicides will be presented as examples. Finally, the future development of these technologies will be discussed in the perspective of more practical uses.

**Keywords:** ACCase, ALS, bioassays, HPLC analyses, non-target-site resistance, pyrosequencing, target-site resistance

### Zusammenfassung

Getreide ist zurzeit die wichtigste Grundlage für unsere Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Die Getreideproduktion muss jedoch, im Hinblick auf den bis 2050 erwarteten weltweiten Bevölkerungsanstieg auf nahezu 10 Mrd. Menschen und die gleichbleibende landwirtschaftliche Nutzfläche, mindestens verdoppelt werden, um ausreichend Nahrungsmittel bereit zu stellen. Herbizide haben sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einem der wichtigsten Instrumente der Unkrautbekämpfung entwickelt, da sie eine maßgebliche Möglichkeit darstellen den Ertrag zu steigern. In einigen Fällen allerdings, führt sowohl die wiederholte Anwendung von Herbiziden als auch die begrenzte Auswahl an verfügbaren herbiziden Wirkmechanismen (MoA) zu einer ernstzunehmenden Resistenzentwicklung in Unkräutern. Diese Entwicklung macht es erforderlich die Anwendung von Herbiziden so zu verändern, dass eine weitere Resistenzentwicklung vermieden wird und vorhandene Wirkstoffe auch in Zukunft der Unkrautbekämpfung im Getreide zur Verfügung stehen.

Verschiedenste Resistenzmechanismen gegen Herbizide haben sich in Unkräutern herausselektiert und sind in den vergangenen Jahren intensiv untersucht worden. Dazu zählen in Getreideunkräutern vor allem die wirkortspezifische Resistenz (Target Site Resistenz, TSR) und die Metabolisierung von Wirkstoffen (Enhanced Metabolic Resistance, EMR oder Non-Target-Site Resistenz, NTSR). Die erarbeiteten Erkenntnisse lassen sich mittlerweile zuverlässig zur Resistenzdiagnose in Unkräutern verwenden. Zuverlässige Diagnoseverfahren für Herbizidresistenz bei Unkräutern werden insbesondere für die Entwicklung nachhaltiger Strategien im Unkrautmanagement und zur Verlängerung der Produktlebensdauer benötigt. Eine zuverlässige Diagnose hilft zudem in Problemfällen Herbizidapplikationen anpassen oder optimieren zu können.

In dieser Studie werden schwerpunktmäßig biochemische und molekularbiologische Diagnosemethoden für Herbizidresistenz in Unkräutern aus Gewächshaus und Labor vorgestellt und am Beispiel ACCase resistenter Unkräuter verdeutlicht. Schließlich wird die zukünftige Entwicklung dieser Technologien im Zusammenhang mit der praktischen Anwendung diskutiert.

**Stichwörter:** ACCase, ALS, Bioassay, HPLC-Metaboliten-Analytik, Non-Target-Site Resistenz, Pyrosequencing, Target-Site Resistenz

## 1. Introduction

Modern herbicides make major contributions to global food production by easily removing weeds and substituting for destructive soil cultivation. Weed resistance to herbicides is an increasing problem, not only regarding the number of weeds becoming resistant to a particular mode of action (MOA), but also regarding the appearance of resistance to multiple MOAs (HEAP, 2011). Several factors influence the development of herbicide resistance which follows evolution processes, such as the genetic and biology of a weed species, the herbicide chemistry and its MOA, as well as key agro-ecosystem characteristics and herbicide handling by the users (DARMENCY, 1994; CHRISTOFFERS, 1999; POWLES and YU, 2010). Resistance to herbicides can result from several mechanisms occurring alone or in combination. The first group of mechanisms includes all modifications of the targeted proteins including gene coding sequence mutations, gene over-expression, and gene duplication, collectively known as Target Site Resistance (TSR). The second group comprises processes not directly involving the targeted proteins such as the modification of herbicide penetration into the plant, decreased rate of herbicide translocation, and increased rate of herbicide sequestration or metabolism, collectively known as Non Target Site Resistance (NTSR). TSR is characterized by a relatively narrow resistance to a single MOA or even subgroups of chemical classes showing this MOA whereas NTSR, especially enhanced metabolization, can confer resistance to a broad range of herbicides. In the main herbicide resistant monocotyledonous weeds present in cereal fields (*Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, *Bromus* spp., *Lolium* spp.), mutations of the coding sequences of the acetolactate synthase (ALS) and the acetyl-coenzyme A carboxylase (ACCCase) genes have been extensively characterized as well as increased metabolization of herbicides (reviewed by POWLES and YU, 2010). Especially threatening are herbicide-degrading cytochrome P450 enzymes (CytP450) endowing enhanced metabolic resistance towards existing, new, and supposedly herbicides yet to be discovered. Despite extensive studies and reviews of herbicide resistance (POWLES and SHANER, 2001; GRESSEL, 2002), genetic issues associated with resistance evolution need to be investigated further to increase our basic knowledge of this aspect and to generate the necessary tools for accurate resistance diagnostics. The latter will contribute making the best possible decisions for an efficient Integrated Weed Management strategy. Greenhouse and laboratory tests used for weed herbicide resistance diagnosis will be reviewed with an emphasis on biochemical and molecular biology technologies. Cases of resistance to ACCCase inhibitor herbicides will be presented as examples. Finally, the future development of these technologies will be discussed in the perspective of more practical uses.

## 2. Greenhouse bioassays

Weed resistance diagnostics using greenhouse bioassays provide information on whole plant responses to herbicides. Nevertheless, the results often show significant variations between different research groups assessing the same weed biotypes but evaluating different criteria, e.g. visual evaluation, mortality, or growth based on fresh weight and using different experimental conditions (e.g. temperature, photoperiod, light intensity) (MOSS et al., 1998). Therefore, screening protocols have to be well defined and standardized methods should be used (BECKIE et al., 2000). A more accurate evaluation of herbicide resistance occurs when the responses of putative resistant (R) biotypes are compared to well characterized sensitive (S) biotypes using a range of six to eight herbicide doses in pot experiments (HEAP, 1994). This allows using appropriate statistical methods to quantify the level of resistance by e.g. the dose required to reduce shoot weight or plant number by 50 % relative to untreated plants ( $GR_{50}$  or  $LD_{50}$ , respectively) (STREIBIG, 1988; BRAIN and COUSENS, 1989; SEEFELDT et al., 1995). These effective doses are then compared between the R and S biotypes and the relative level of resistance is expressed as the ratio of R/S (resistance factor). To assess a large number of samples in a routine screening approach, this method can be simplified by using a discriminating dose (very often the recommended field dose), i.e. the minimum herbicide dose that provides the appropriate vertical difference between the dose-response curve of R and S biotypes and that results in at least 80 % control of the S biotypes (NORTHWORTHY et al., 1998; BECKIE et al., 2000). Nevertheless,

greenhouse bioassay diagnostics in pots remains time consuming, space consuming, and rather expensive. To overcome these drawbacks, soilless or dish bioassays have been set up (using filter paper or agar), but these are often less accurate (BECKIE et al., 2000) and cannot discriminate between resistance mechanisms (TSR and NTSR).

### 3. Biochemical assays

Enzyme assays, e.g. acetolactate synthase (EC 4.1.3.18) (ALS) or acetyl-CoA carboxylase (EC 6.4.1.2) (ACCCase) assays, require the harvest of living plants in often high quantities, especially when meristematic tissues have to be used, to be able to purify enough protein to perform the assay. This is time consuming and skill-dependent. Although there is a fairly good correlation between the relative resistance of biotypes at the enzyme and whole plant level (DEVINE and EBERLEIN, 1997), enzyme assays provide information only about herbicide resistance conferred by target site changes while NTSR as well as multiple resistance to herbicides with different modes of action remains undetected. Nevertheless, enzyme assays permit detailed studies on the effect of a given mutation in the gene coding sequence on sensitivity to different chemical classes of inhibitors (POWLES and YU, 2010).

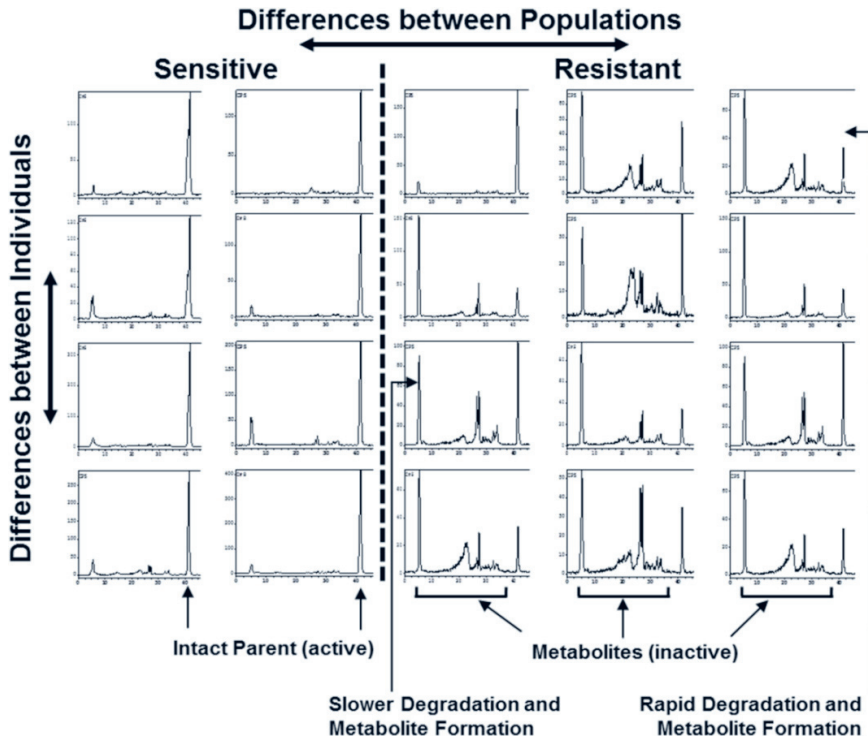
### 4. Molecular assays

Recent developments of gene sequence analyses allow the detection of novel mutations (KAUNDUN et al., 2011), and the analysis of known mutations using CAPS (KAUNDUN and WINDASS, 2006; MASSA et al., 2011; DELYE et al., 2011), real-time quantitative PCR (KAUNDUN et al., 2006), or pyrosequencing (PETERSEN et al., 2010; RIGGINS et al., 2010). Homozygous plants for a given mutation can be differentiated from heterozygous plants for that mutation. High throughput analysis of known ACCase and ALS mutations (POWLES and YU, 2010) has been set up for pyrosequencing in order to provide a more quantitative result than PCR alone. Data using this technology applied to a case study analysis of *Alopecurus myosuroides* in Germany were reported by HESS et al. (2012). Briefly, approximately 20 mg of fresh leaf material was harvested from each plant to determine target site mutations on the ACCase gene. Approximately 1 cm<sup>2</sup> plant material was disrupted in 400 µl 100 mM Tris(HCl) and 1 M KCl (pH 9.5) with stainless steel beads in a swing mill (Retsch 300MM). To amplify the fragment of interest, after a centrifugation step, 0.1 µl of the supernatant was used as template together with Hotstart Taq (Qiagen) and 0.4 µM of each primer to perform the PCR (25 µl). For example, a 483bp long biotinylated (BT) ACCase fragment containing the W2027C mutation was amplified using the forward and reverse primers, respectively P1 (5'tcctgttggtgttagctgt3'), and P2 (BT-5'ggatcaagcctaccatgca3') at 54.1 °C annealing temperature (40 sec), 72 °C elongation time (40 sec.) in 45 cycles and a final extension step (10 min) at 72 °C. The pyrosequencing reaction was performed as described by PETERSEN et al. (2010) using the pyrosequencing primer P3 (5'cctctgttcatacttgtaac3') in a Pyromark PSQ 96 instrument. The reactions to sequence the 2041, 2078 and 2096 mutation sites in the ACCase sequence were performed using the same fragment but with the sequencing primers 5'gcaaagagatcttttgaagga3' (2041), 5'gtggaggagcctgggtcgtgatt3' (2078) and 5'gctatgctgagaggactgcaag3' (2096), respectively. To sequence the mutation site 1781 on the ACCase gene, a 183 bp long fragment was amplified by using the forward primer 5'gcacacaagatgcagctagatg3' and BT-5'tccgattccaacagttcgt3' as the reverse primer and, 5'atggactaggtgtgagaac3' was used as sequencing primer. Similar methods can be developed to test point mutations in any sequence of interest. Other approaches designed to determine gene copy number (GAINES et al., 2010), or gene expression analysis either by using microarrays (YUAN et al., 2010) or a novel RNAseq approach (PENG et al., 2010) offer the opportunity to develop new knowledge about NTSR and use it to develop novel diagnostics approaches with molecular assays that increase throughput at a reasonable cost.

### 5. Analytical assays

The use of <sup>14</sup>C-radiolabelled compounds allows studying the metabolic degradation in planta and is so far the method of choice to perform such studies. In our laboratory, young plants, e.g. *Alopecurus myosuroides* (ALOMY), at developmental stage of one to three leaves were treated either of the leaves

or of the base of the stem with the herbicide to be analyzed. Typical data obtained for  $^{14}\text{C}$ -mesosulfuron after extraction and HPLC analyses are shown in Figure 1. This method can be both quantitative and qualitative and offers the possibility to determine Enhanced Metabolic Resistance (EMR) in most monocotyledonous and dicotyledonous weeds found in cereal fields. Similar approaches can be used to study modifications of herbicide transport, uptake, or sequestration. Nevertheless these methods require specific skills, and are time consuming. Genetic markers related to EMR or other NTSR processes will greatly help to improve the diagnostics for such types of herbicide resistance.



**Fig. 1** Example of metabolization of mesosulfuron by five biotypes of *Alopecurus myosuroides* (ALOMY), sensitive (S, left) or resistant (R, right). Almost no metabolites can be detected on the HPLC chromatograms related to the S plants (n = 4 left) compared to those related to the R plants (n = 4 right). Note the high variation between individuals, especially in the case of the R plants.

**Abb. 1** Beispiel einer Mesosulfuron Metabolisierung in fünf verschiedenen sensitiven (S, links) und resistenten (R, rechts) *Alopecurus myosuroides* (ALOMY)-Biotypen. In dem HPLC-Chromatogramm sind bei den S-Pflanzen (n = 4, links) im Vergleich zu den R-Pflanzen (n = 4, rechts) fast keine Metabolite erkennbar. Auffallend ist die hohe Variation zwischen einzelnen Pflanzen, insbesondere bei den R-Pflanzen.

## 6. Conclusion

At this time, greenhouse bioassays remain the basic method to assess resistance to herbicides although they can show variation and are very time consuming. In addition, they cannot be used to deliver a fast answer to growers nor can they definitely discriminate between TSR and NTSR. Novel molecular technologies could offer the tools to overcome these drawbacks and become integrated in novel herbicide resistance diagnostics. This is already the case for TSR. The molecular characterization of NTSR will be the next step and the novel generation sequencing methods offer the opportunity to deliver molecular tools for fast NTSR diagnostics, but require significant investments. Fast diagnostics will help guide the appropriate recommendation in Integrated Weed Management programs.



Nevertheless, one major recommendation, regardless of test results, is the use of active ingredients with different modes of action in rotation, sequences, or in mixtures in combination with soil management tools and the appropriate crop rotations.

## References

- BECKIE, H. J., I.M. HEAP, R.J. SMEDA AND L.M. HALL, 2000: SCREENING FOR HERBICIDE RESISTANCE IN WEEDS. *WEED TECHNOLOGY* **14**, 428-445.
- BRAIN, P. AND R. COUSENS, 1989: AN EQUATION TO DESCRIBE DOSE RESPONSES WHERE THERE IS STIMULATION OF GROWTH AT LOW DOSES. *WEED RESEARCH* **29**, 93-96.
- CHRISTOFFERS, M.J., 1999: GENETICS ASPECTS OF HERBICIDE-RESISTANT WEED MANAGEMENT. *WEED TECHNOLOGY* **13**, 647-652.
- DARMENCY, H., 1994: GENETICS OF HERBICIDE RESISTANCE IN CROPS AND WEEDS. IN: POWLES, S.B. AND J.A.M. HOLTUM (EDS.), 1994: HERBICIDE RESISTANCE IN PLANTS: BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY, PP. 263-298. LEWIS PUBLISHERS, BOCA RATON.
- DELYE, C., F. PERNIN AND S. MICHEL, 2011: UNIVERSAL PCR ASSAYS DETECTING MUTATIONS IN ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE OR ACETOLACTATE SYNTHASE THAT ENDOW HERBICIDE RESISTANCE IN GRASS WEEDS. *WEED RESEARCH* **51**, 353-362.
- DEVINE, M.D. AND C.V. EBERLEIN, 1997: PHYSIOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND MOLECULAR ASPECTS OF HERBICIDE RESISTANCE BASED ON ALTERED TARGET SITES. IN: ROE, R.M., J.D. BURTON AND R.J. KUHR (EDS.), 1997: HERBICIDE ACTIVITY, TOXICOLOGY, BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY, PP. 159-186. IOS PRESS.
- GAINES, T.A., C. PRESTON, J.E. LEACH, S.T. CHISHOLM, D.L. SHANER, S.J. NISSEN, W.L. PATZOLDT, P.J. TRANEL, A.S. CULPEPPER, T.L. GREY, T.M. WEBSTER, W.K. VENCILL, R.D. SAMMONS, J. JIANG, C. PRESTON, J.E. LEACH AND P. WESTRA, 2010: GENE AMPLIFICATION IS A MECHANISM FOR GLYPHOSATE RESISTANCE EVOLUTION. *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES USA* **107**, 1029-1034.
- GRESSEL, J. (ED.), 2002: *MOLECULAR WEED BIOLOGY*, TAYLOR & FRANCIS PUBLISHERS.
- HEAP, I.M., 1994: IDENTIFICATION AND DOCUMENTATION OF HERBICIDE RESISTANCE. *PHYTOPROTECTION* **75** (SUPPL.), 85-90.
- HEAP, I.M., 2011: INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE-RESISTANT WEEDS. [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG](http://www.weedscience.org).
- HESS, M., R. BEFFA, J. KAISER, B. LABER, H. MENNE AND H. STREK, 2012: STATUS AND DEVELOPMENT OF ACCASE AND ALS RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) IN NEIGHBORING FIELDS IN GERMANY. *JULIUS-KÜHN-ARCHIV* **434**, 163-170.
- KAUNDUN, S.S. AND J.D. WINDASS, 2006: DERIVED CLEAVED AMPLIFIED POLYMORPHIC SEQUENCE, A SIMPLE METHOD TO DETECT A KEY POINT MUTATION CONFERRING ACETYL COA CARBOXYLASE INHIBITOR HERBICIDE RESISTANCE IN GRASS WEEDS. *WEED RESEARCH* **46**, 34-39.
- KAUNDUN, S.S., S.M. CLEERE, C.P. STANGER, J.M. BURBIDGE AND J.D. WINDASS, 2006: REAL-TIME PCR ASSAYS FOR QUANTIFICATION OF L1781 ACCASE INHIBITOR RESISTANCE ALLELE IN LEAF AND SEED POOLS OF LOLIUM POPULATIONS. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **62**, 1082-1091.
- KAUNDUN, S.S., R.P. DALE, I.A. ZELAYA, G. DINELLI, I. MAROTTI, E. MCINDOE AND A. CAIRNS, 2011: A NOVEL P106L MUTATION IN EPSPS AND AN UNKNOWN MECHANISM(S) ACT ADDITIVELY TO CONFER RESISTANCE TO GLYPHOSATE IN A SOUTH AFRICAN *LOLIUM RIGIDUM* POPULATION. *JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY* **59**, 3227-3233.
- MASSA, D., B. KRENZ AND R. GERHARDS, 2011: TARGET-SITE RESISTANCE TO ALS-INHIBITING HERBICIDES IN *APERA SPICA-VENTI* POPULATIONS IS CONFERRED BY DOCUMENTED AND PREVIOUSLY UNKNOWN MUTATIONS. *WEED RESEARCH* **51**, 294-303.
- MOSS, S.R., K. ALBERTINI AND K. ARLT, 1998: SCREENING FOR HERBICIDE RESISTANCE IN BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*): A "RING" TEST. *MEDECIN. FACULTY. LANDBOUWW., UNIV. GENT* **63/3A**, 671-679.
- NORSWORTHY, J.K.R.E., R.E. TALBERT AND R.E. HOAGLAND, 1998: CHLOROPHYLL FLUORESCENCE FOR RAPID DETECTION OF PROPANIL-RESISTANT BARNYGRASS (*ECHINOCHLOA CRUS-GALLI*). *WEED SCIENCE* **46**, 163-169.
- PENG, Y., L.L.G. ABERCROMBIE, J.S. YUAN, C.W. RIGGINS, R.D. SAMMONS, P.J. TRANEL AND C.N. STEWART JR, 2010: CHARACTERIZATION OF THE HORSEWEED (*CONYZA CANADENSIS*) TRANSCRIPTOME USING GS-FLX 454 PYROSEQUENCING AND ITS APPLICATION FOR EXPRESSION ANALYSIS OF CANDIDATE NON-TARGET HERBICIDE RESISTANCE GENES. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **66**, 1053-1062.
- PETERSEN, J., M. DRESBACH-RUNKEL AND J. WAGNER, 2010: A METHOD TO DETERMINE THE POLLEN-MEDIATED SPREAD OF TARGET-SITE RESISTANCE TO ACETYLCOENZYME A CARBOXYLASE INHIBITORS IN BLACK GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.). *JOURNAL OF PLANT DISEASE PROTECTION* **117**, 122-128.
- POWLES, S.B. AND D.L. SHANER (EDS.), 2001: *HERBICIDE RESISTANCE AND WORLD GRAINS*. CRC PRESS.
- POWLES, S.B. AND Q. YU, 2010: EVOLUTION IN ACTION: PLANTS RESISTANT TO HERBICIDES. *ANNUAL REVIEW PLANT BIOLOGY* **61**, 317-347.
- RIGGINS, C., Y. PENG, C.N. STEWART JR. AND P.J. TRANEL, 2010: CHARACTERIZATION OF DE NOVO TRANSCRIPTOME FOR WATERHEMP (*AMARANTHUS TUBERCULATUS*) USING GS-FLX 454 PYROSEQUENCING AND ITS APPLICATION FOR STUDIES OF HERBICIDE TARGET-SITE GENES. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **66**, 1042-1052.
- SEEFELDT, S.S., J.E. JENSEN AND E.P. FUERST, 1995: LOG-LOGISTIC ANALYSIS OF HERBICIDE DOSE-RESPONSE RELATIONSHIPS. *WEED TECHNOLOGY* **9**, 218-227.

STREIBIG, J.C., 1988: HERBICIDE BIOASSAY. *WEED RESEARCH* **28**, 479-484.

YUAN, J.S., L.L.G. ABERCROMBIE, Y. CAO, M.D. HALFILL, X. ZHOU, Y. PENG, J. HU, M.R. RAO, G.R. HECK, T.J. LAROSA, R.D.

SAMMONS, X. WANG, P. RANJAN, D.H. JOHNSON, P.H. WADL, B.E. SCHEFFLER, T.A. RINEHART, R.N. TRIGIANO AND C.N.

STEWART JR., 2010: FUNCTIONAL GENOMICS ANALYSIS OF HORSEWEED (*CONYZA CANADENSIS*) WITH SPECIAL REFERENCE TO THE EVOLUTION OF NON-TARGET SITE GLYPHOSATE RESISTANCE. *WEED SCIENCE* **58**, 109-117.

## **Comparison of different black-grass populations (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in their susceptibility to herbicides under field conditions**

*Vergleich verschiedener Ackerfuchsschwanz-Populationen (Alopecurus myosuroides Huds.) in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Herbiziden unter Freilandbedingungen*

Günter Klingenhagen

Chamber of Agriculture, North Rhine-Westphalia, Plant Protection Service, Nevinghoff 40, 48147 Münster, Germany, guenter.klingenhagen@lwk.nrw.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.009

### **Summary**

In autumn 2009 and 2010, black-grass samples from different regions in Germany were sown into a field near Münster. The sandy soil of the field was free of black-grass seeds until the sowing date. The aim of the trial was to compare the fitness and resistance value of different black-grass populations under outdoor conditions. Particularly the impact of pre-emergence herbicides was of interest. Different efficiency factors of CADOU SC<sup>®</sup> (flufenacet) against the tested black-grass populations were observed. The disparities in the level of control were even greater under the use of STOMP AQUA<sup>®</sup> (pendimethalin), BOXER<sup>®</sup> (prosulfocarb) and ARELON TOP<sup>®</sup> (isoproturon). A hundred percent control of all black-grass populations in both seasons was only achieved by the use of KERB FLO<sup>®</sup> (propyzamide). It was visible that the black-grass populations that were difficult to control had a powerful constitution, even better than that of those populations that turned out to be highly susceptible to the herbicide treatments. The fall results in both seasons of the experiment (2009/2010 and 2010/2011) were consistent. This was also confirmed for the efficacy results for foliar herbicides in spring. Subject to field history, there was a wide range in sensitivity to the tested herbicides. Black-grass populations from coastal regions were poorly controlled by FOCUS ULTRA<sup>®</sup> (cycloxydim) or SELECT 240 EC<sup>®</sup> (clethodim) + PARA SOMMER<sup>®</sup> (paraffin oil), but were highly susceptible to MOTIVELL<sup>®</sup> (nicosulfuron). Contrary results were observed with reference to the black-grass populations from the inland. These populations were derived from fields where the crop rotation contains of 66 % cereals and 33 % maize. The populations from the coast were sampled in crop rotations dominated by cereals or cereals followed by oil seed rape. Poor efficacy of ATLANTIS OD<sup>®</sup> (mesosulfuron + iodosulfuron) was observed in black-grass populations from the coastal regions as well as from the inland.

**Key words:** Crop rotation, fitness, flufenacet, mesosulfuron, propyzamide, prosulfocarb, quizalofop-p

### **Zusammenfassung**

Im Herbst der Jahre 2009 und 2010 wurden Samen unterschiedlicher Ackerfuchsschwanz-Populationen auf einem Feld in der Nähe von Münster ausgesät. Bis zur Saat war der Boden, ein Sandboden, frei von Ackerfuchsschwanz-Samen. Ziel des Versuches war es, die ökologische Fitness und den Resistenzgrad unterschiedlicher Ackerfuchsschwanz-Populationen unter Freilandbedingungen miteinander zu vergleichen. Hierbei ging es besonders um die Wirksamkeit von Bodenherbiziden. Es wurde deutlich, dass die Wirkung von CADOU SC<sup>®</sup> (Flufenacet) gegen die geprüften Ackerfuchsschwanz-Populationen unterschiedlich war. Deutlich größer waren die Unterschiede im Bekämpfungserfolg bei Einsatz von STOMP AQUA<sup>®</sup> (Pendimethalin), BOXER<sup>®</sup> (Prosulfocarb) und ARELON TOP<sup>®</sup> (Isoproturon). Eine hundertprozentige Bekämpfung aller Ackerfuchsschwanz-Herkünfte konnte in beiden Versuchsjahren nur durch den Einsatz von KERB FLO<sup>®</sup> (Propyzamid) erreicht werden. Es war zu beobachten, dass die schwer bekämpfbaren Ackerfuchsschwanz-Herkünfte über eine gute Konstitution verfügten. Diese war besser als die Konstitution der Herkünfte, die sehr empfindlich auf die Herbizidbehandlungen reagierten. Die Ergebnisse aus den Herbstbehandlungen der Versuchsjahre 2009/2010 und 2010/2011 waren konsistent. Dies gilt auch für die Bekämpfungserfolge, die nach den Behandlungen im Frühjahr erhoben wurden. In Abhängigkeit von der Schlaghistorie war die Empfindlichkeit der unterschiedlichen Ackerfuchsschwanz-Herkünfte sehr unterschiedlich. Ackerfuchsschwanz-Populationen aus den Küstenregionen wurden mit FOCUS ULTRA<sup>®</sup> (Cycloxydim) oder SELECT 240 EC<sup>®</sup> (Clethodim) + PARA SOMMER<sup>®</sup> (Paraffinöl) schlecht bekämpft, waren aber empfindlich gegenüber MOTIVELL<sup>®</sup> (Nicosulfuron). Gegenteilig war die Reaktion der Ackerfuchsschwanz-Populationen aus dem Binnenland. Diese Populationen entwickelten sich in Fruchtfolgen, die zu 66 % aus Getreide und zu 33 % aus Mais bestehen. Die Populationen der Küstenregionen sind durch Getreide- bzw. Getreide-Raps-Fruchtfolgen geprägt. Eine unzureichende Wirkung von ATLANTIS OD<sup>®</sup> (Mesosulfuron + Iodosulfuron) konnte sowohl bei den Populationen aus den Küstenregionen wie aus dem Binnenland beobachtet werden.

**Stichwörter:** Cycloxydim, Fitness, Flufenacet, Freiland, Fruchtfolge, Mesosulfuron, Propyzamid

## 1. Introduction

The control of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in cereals is a major issue in North-West Europe (DROBNY et al., 2006). Especially on heavy soils, control problems have arisen during the last 30 years. Prior to the availability of crop-selective grass-herbicides like TRIBUNIL® (methabenzthiazuron), ARELON® (isoproturon) or DICURAN® (chlortoluron), these fields with heavy soils were mainly used as grassland (MENCK, 1968). Since then, further products for black-grass control came onto the market. With the frequent use of these compounds, resistant black-grass populations were selected (RUBIN, 1996). This becomes most obvious in production systems which provide high amounts of black-grass seeds. Early drilling, insufficient control and minimum tillage are adequate tools to boost a black-grass population. A high initial frequency of resistance alleles in a population, outbreeding, dominance of inheritance, a short persistence of seed bank in the soil and the lack of a fitness penalty for resistant versus susceptible biotypes of a weed species are further factors that favor the occurrence and increase of herbicide resistance (ZWERGER and WALTER, 1994). So far, it has been proven that black-grass populations have developed resistance and cross-resistance to a number of herbicides belonging to different modes of action. This is true for photosynthesis II (PS II) inhibitors such as isoproturon and chlortoluron. These herbicides are classified by the Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) in group C2. Another widespread resistance is that to acetyl-CoA carboxylase (ACCase) inhibitors like fenoxaprop-P-ethyl, clodinafop and pinoxaden (HRAC group A). Furthermore, the number of black-grass populations resistant to acetolactate-synthase (ALS) inhibitors like flupyr-sulfuron and mesosulfuron is increasing (MOSS and HULL, 2009). Most of the populations analyzed so far have developed metabolic resistance mechanisms (DROBNY et al., 2006). These populations are able to metabolize different herbicides from different chemical classes and with different modes of action (MENDES and DEPRADO, 1997). To prevent a rapid development of resistance, it is a general advice to use pre-emergence herbicides, presuming that the risk of selecting plants that are resistant to this mode of action is low. Among the pre-emergence herbicides, flufenacet is the most important component to control black-grass in winter cereals. Flufenacet is one of the active components in HEROLD SC®, MALIBU® (flufenacet + pendimethalin) and BACARA Forte® (flufenacet + diflufenican + flurtamone). That is why the results of glasshouse trials, where a significantly reduced efficacy of CADOU SC® against five black-grass biotypes was found, were alarming. A 90 % reduction of the shoot biomass was achieved with application rates between 0.79 and 4.45 l/ha CADOU SC®. Calculated resistance factors based on the EC<sub>50</sub> values are reported between 8.8 and 49.5 (KRATO and PETERSEN, 2010). These resistance cases are reported under [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org) (PETERSEN, 2010). These scientific findings and a discussion with colleagues (who have to deal with the most challenging black-grass populations) were the background of the trial program.

## 2. Materials and methods

The field trials were carried out in 2009/2010 and 2010/2011. The black-grass seeds that were drilled in autumn 2009 were collected in summer 2009. For the trial in 2009/2010, we received samples of populations from six different locations in Germany. One from the east coast ("Dingebauer"), another from the west coast of Schleswig-Holstein ("Schleich-Saidfar") and two samples from Münsterland ("Coesfeld" and "Warendorf"). Moreover, seeds were obtained from Rhineland ("Bonn") and a sensitive standard population from the seed supplier Appel ("Appel"). The black-grass populations from Schleswig-Holstein and Münsterland had been taken from so-called "problematic sites". In addition to that, for the trial in 2010/2011, we received black-grass samples from two locations near Hannover ("Seemann" and "Haarstrich"), from Ostfriesland ("Pewsum"), from the Schwäbische Alp ("Heisrath") and from a field near Unna in Westphalia ("Grünewald"). "Dingebauer" was drilled twice (harvest 2009 and 2010). The population "Schleich-Saidfar" from 2010 was collected from a different field from that in 2009. The black-grass seeds were mixed with winter wheat (100 seeds per m<sup>2</sup>). Sowing was conducted September 29<sup>th</sup> in 2009 and October 4<sup>th</sup> in 2010. The field was located in Münster, Germany. The soil is a sandy soil with 1.9 % humus and a pH of 5.8. The soil contents of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (25 mg/100 g soil), K<sub>2</sub>O (18 mg/100 g soil), and Mg (5 mg/100 g soil) are in a balanced proportion. The

field is owned by the Chamber of Agriculture and did not contain any black-grass seeds until the day of drilling. The different black-grass populations were sown in parallel strips of 40 m length and a width of 1.2 m. To obtain different depths of deposition, each strip was drilled twice at depths of 0.5 to 2.5 cm. According to a germination test, around 1000 fertile black-grass seeds per m<sup>2</sup> were drilled. The herbicide applications were conducted crosswise to the strips. Each herbicide was sprayed over a width of 2 m. The pre-emergence applications were carried out October 14<sup>th</sup> in 2009 at growth stage BBCH 00-10 and October 6<sup>th</sup> in 2010 at growth stage BBCH 00. In both seasons, there were satisfactory soil and weather conditions for the herbicidal activity of the pre-emergence herbicides. The spraying was done with trial spraying device, equipped with an airmix antidrift 11003 nozzle. The herbicides were sprayed in 300 liters water per ha with a pressure of 2.3 bar. On the spraying dates mentioned, CADOU SC<sup>®</sup>, HEROLD SC<sup>®</sup>, STOMP AQUA<sup>®</sup>, BOXER<sup>®</sup> and ARELON TOP<sup>®</sup> were applied. In autumn 2010, CADOU SC<sup>®</sup> was replaced by FUEGO<sup>®</sup> (metazachlor). KERB FLO<sup>®</sup> was sprayed November 18<sup>th</sup> of 2009 at growth stage BBCH 12-13 and November 22<sup>nd</sup> in 2010 at growth stage BBCH 11-13. The spring applications were carried out April 27<sup>th</sup> in 2010 at growth stage BBCH 25-29 and March 8<sup>th</sup> in 2011 at growth stage BBCH 13-25. ATLANTIS OD<sup>®</sup>, ROUNDUP ULTRA MAX<sup>®</sup> (glyphosate), TARGA SUPER<sup>®</sup> (quizalofop-p), FOCUS ULTRA<sup>®</sup>, SELECT 240 EC<sup>®</sup>, + PARA SOMMER<sup>®</sup> (paraffin oil) and MOTIVELL<sup>®</sup> (nicosulfuron) were applied as spring applications. In addition to that a tankmixture of LAUDIS<sup>®</sup> (tembotrione) + GARDO GOLD<sup>®</sup> (s-metolachlor + terbuthylazine) + B 235<sup>®</sup> (bromoxynil) was applied April 21<sup>st</sup> in 2011 at growth stage BBCH 25-29. The impact of the herbicides was estimated over the growing period; the herbicidal efficacy was assessed as % visual biomass reduction. The final assessment was done June 16<sup>th</sup> in 2010 and on June 1<sup>st</sup> in 2011, respectively.

**Tab. 1** Commercial name, active ingredient(s) and potency of the used products.

**Tab. 1** *Handelsname, Wirkstoff(e) und Wirkstoffgehalte der eingesetzten Produkte.*

Product	Active ingredient	Potency (g/l or kg)
Arelon Top	isoproturon	500
Atlantis OD	mesosulfuron + iodosulfuron	10 + 2
B 235	bromoxynil	235
Boxer	prosulfocarb	800
Cadou SC	flufenacet	500
Focus Ultra	cycloxdim	100
Gardo Gold	s-metolachlor + terbuthylazin	313 + 188
Herold SC	flufenacet + diflufenican	400 + 200
Kerb Flo	propyzamid	400
Laudis	tembotrione	44
Motivell	nicosulfuron	40
Select 240 EC	clethodim	242
Stomp Aqua	pendimethalin	455
Targa Super	quizalofop-p	50

### 3. Results

After drilling on September 29<sup>th</sup> 2009, the first black-grass sprouts emerged on 16<sup>th</sup> of October. At the time of emergence, the visual appearance of different populations was quite uniform. Four days later, differences became more obvious. Especially "Dingebauer" was impressive. Plants appeared to be faster, thicker and greener than those of the other populations. Compared to "Dingebauer", the susceptible standard "Appel" made a weak impression. In the following spring season, the conditions for germination were adverse. One week after drilling, it was getting cold and wet and a frost period started and lasted until the beginning of January 2010. At the end of January, the first plants had reached the growth stage 10 and on February 6<sup>th</sup>, the drilling rows were clearly visible and at least

100 plants per m<sup>2</sup> of each population had emerged. Spring-like weather until the 17<sup>th</sup> of February provided good growing conditions until frost down to minus 8 °C occurred. At the beginning of March 2010, a large number of black-grass plants were lost by winter-kill. Particularly the plant densities of populations "Appel", "Bonn" and "Grünwald" which could be assumed to be susceptible to the herbicides tested, were significantly reduced. On the other hand, the populations "Warendorf", "Schleich-Saidfar", "Dingebauer" 2009/2010 and "Pewsum", which responded less susceptible to herbicides, were not as strongly affected and "Seemann" overcame the frost period in an unaffected way. The populations "Haarstrich" and "Heisrath" do not fit into this scheme.

As "Seemann" also showed no response after being treated with ATLANTIS OD<sup>®</sup> or MOTIVELL<sup>®</sup>, plants were tested by Dr. Jean Wagner via molecular genetic analysis. He found Leu574-resistance in all (twenty) samples examined. In fourteen of the twenty samples, the Leu574-resistance was found on both alleles (homozygous).

The efficacy of herbicide applications against the different black-grass populations is shown in the tables below.

**Tab. 2** Efficacy of the herbicide applications in autumn 2009 against different black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations.

**Tab. 2** Wirkung der Herbizidbehandlungen im Herbst 2009 gegen unterschiedliche Herkünfte von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.).

Population	Herbicide	CADOU SC	HEROLD SC	STOMP AQUA	BOXER	ARELON TOP	KERB FLO
	Rate (l/ha)	0.5	0.6	4.0	4.0	3.0	1.5
	Ears/m <sup>2</sup>	% efficacy (biomass reduction)					
"Appel"	300	100	100	80	80	70	100
"Warendorf"	430	90	95	0	0	0	100
"Schleich-Saidfar"	380	90	97	10	0	70	100
"Dingebauer"	430	80	85	10	0	50	100
"Coesfeld"	380	90	97	10	0	40	100
"Bonn"	400	100	100	60	70	60	100

**Tab. 3** Efficacy of herbicide applications in spring 2010 against different black-grass populations (*Alopecurus myosuroides* Huds.).

**Tab. 3** Wirkung der Herbizidbehandlungen im Frühjahr 2010 gegen unterschiedliche Herkünfte von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.).

Population	Herbicide	ATLANTIS OD	ROUNDUP ULTRA MAX	TARGA SUPER	FOCUS ULTRA	SELECT 240 EC	MOTIVELL
	Rate (l/ha)	1.2	2.0	1.0	2.5	0.5 + 1.0	1.0
	Ears/m <sup>2</sup>	% efficacy (biomass reduction)					
"Appel"	300	98	100	100	100	100	100
"Warendorf"	430	40	100	98	100	100	95
"Schleich-Saidfar"	380	80	100	65	75	85	98
"Dingebauer"	430	85	100	15	15	70	95
"Coesfeld"	380	75	100	95	99	100	100
"Bonn"	400	98	100	100	100	100	100

**Tab. 4** Efficacy of herbicide applications in autumn 2010 against different black-grass populations (*Alopecurus myosuroides* Huds.).**Tab. 4** Wirkung der Herbizidbehandlungen im Herbst 2010 gegen unterschiedliche Herkünfte von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.).

Population	Herbicide	HEROLD SC	FUEGO	STOMP AQUA	BOXER	IPU	KERB FLO
	Rate (l/ha)	0.6	1.5	4.0	4.0	3.0	1.5
	Ears/m <sup>2</sup>	% efficacy (biomass reduction)					
"Appel"	12	100	100	100	90	97	100
"Warendorf"	450	70	65	30	0	0	100
"Schleich-Saidfar"	320	90	70	70	65	35	100
"Dingebauer 09"	540	65	35	30	25	65	100
"Dingebauer 10"	630	75	40	25	0	50	100
"Bonn"	75	100	100	95	100	70	100
"Pewsum"	450	70	55	35	20	80	100
"Haarstrich"	90	95	75	70	70	n.a.	100
"Seemann"	1000	85	85	45	40	40	100
"Heisrath"	80	75	60	50	40	45	100
"Grünewald"	47	100	60	55	55	70	100

**Tab. 5** Efficacy of the herbicide applications in spring 2011 against different black-grass populations (*Alopecurus myosuroides* Huds.).**Tab. 5** Wirkung der Herbizidbehandlungen im Frühjahr 2011 gegen unterschiedliche Herkünfte von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.).

Population	Herbicide	LAUDIS + GARDO GOLD + B 235	ATLAN- TIS OD	ROUND- UP ULTRA MAX	TARGA SUPER	FOCUS ULTRA	SELECT 240 EC	MOTI- VELL
	Rate (l/ha)	2.0 + 3.0 + 0.3	1.2	2.0	1.0	2.5	0.5 + 1.0	1.0
	Ears/m <sup>2</sup>	% efficacy (biomass reduction)						
"Appel"	12	100	100	98	100	100	100	100
"Warendorf"	450	35	55	90	70	100	100	100
"Schleich-Saidfar"	320	40	85	90	0	35	10	100
"Dingebauer 09"	540	40	97	95	30	65	30	100
"Dingebauer 10"	630	50	93	85	15	65	20	100
"Bonn"	75	98	100	98	70	100	100	100
"Pewsum"	450	35	45	70	0	65	15	100
"Haarstrich"	90	80	65	80	20	100	90	75
"Seemann"	1000	80	0	65	70	100	99	0
"Heisrath"	80	85	75	65	0	30	0	20
"Grünewald"	47	96	100	97	70	90	90	100

#### 4. Discussion

Even though the application conditions for pre-emergence herbicides were optimal, satisfactory control of those populations originating from so-called problematic sites ("Warendorf", "Schleich-Saidfar", "Dingebauer 09/10", "Coesfeld", "Pewsum", "Haarstrich", "Seemann" and "Heisrath") could not be achieved. Only the "easy-to-control" populations ("Appel", "Bonn" and "Grünewald") were completely controlled by the use of CADOU SC<sup>®</sup> or HEROLD SC<sup>®</sup>. This was observable in 2009/2010 as well as in 2010/2011. The lack of herbicidal efficacy was not as high as in the glasshouse trials mentioned by KRATO and PETERSEN (2010), but it became obvious that the different resistance factors are of great importance for black-grass control in the field. Regarding the use of STOMP AQUA<sup>®</sup>, the differences in control level between the populations were enormous. The aforementioned populations were poorly controlled. Nearly the same result was found after the application of BOXER<sup>®</sup>. This was unexpected because according to the HRAC-classification, BOXER<sup>®</sup> is outstanding in class N and should be dissimilar to the K1 and K3 herbicides CADOU SC<sup>®</sup> and STOMP AQUA<sup>®</sup>. Nevertheless, the results agree with the findings of a three-year-lasting outdoor pot-trial (MOSS and HULL, 2009). Another congruent result is that populations which are not sufficiently controlled by CADOU SC<sup>®</sup> and HEROLD SC<sup>®</sup> are (more or less) resist to ATLANTIS OD<sup>®</sup>. According to MOSS and HULL (2009), the subsidiary influence of diflufenican for black-grass control could be observed. The distinction between "resistant" and "sensitive" black-grass populations was not that easy after application of ARELON TOP<sup>®</sup> (isoproturon). The control of populations from the coast was relatively successful. Possibly this can be related to the limited use of isoproturon on these sites in the past. The results of the KERB FLO<sup>®</sup> treatment were really encouraging: Total control in both seasons against all populations. Even during the die-off period, no differences were visible. This fact is in line with studies in which no difference in efficacy after use of different propyzamide rates between "Peldon" (black-grass population known to be resistant against chlortoluron and fenoxaprop) and "LARS" (black-grass population known to be susceptible to chlortoluron and fenoxaprop) could be measured (EDMONDS and CASELEY, 1997).

In case of ATLANTIS OD<sup>®</sup>, one could see a scheme similar to flufenacet. All populations from the "problematic sites" were inadequately controlled. The unequal level of control between the two seasons was probably a result of the disparate circumstances at spraying time. One difference between these "hard-to-control" populations becomes evident when considering the great differences in control between FOCUS ULTRA<sup>®</sup> and MOTIVELL<sup>®</sup>. The populations from the midland were still susceptible to FOCUS ULTRA<sup>®</sup> with indication for increasing resistance against MOTIVELL<sup>®</sup>. Contrary to that was the plant development of the populations from the coastal regions. It can be assumed that this was caused by differences in crop rotations and corresponding spraying regimes. The obvious disparities in efficacy between FOCUS ULTRA<sup>®</sup> and SELECT 240 EC<sup>®</sup> + PARA SOMMER<sup>®</sup> were, from the author's point of view, due to the weather conditions: SELECT 240 EC<sup>®</sup> + PARA SOMMER<sup>®</sup> could benefit from the warm climate in spring 2010. In the following season, it was quite cold during the period of application. Under these conditions, superior control was achieved with FOCUS ULTRA<sup>®</sup>. The weather constellation may also explain the poor impact of ROUNDUP ULTRA MAX<sup>®</sup> in 2011. Apart from this, the populations turned out to be unequally susceptible. This should not lead to a resistance discussion about black-grass and glyphosate but it may be an indication that, under unfavorable conditions, there is a narrow margin between success and failure of a glyphosate application. Studies using 52 black-grass biotypes lead to the conclusion that there was a range in the ED<sub>50</sub> factor between 0.09 and 2.65 (KRATO and PETERSEN, 2010)

The 2011 spring application of LAUDIS<sup>®</sup> + GARDO GOLD<sup>®</sup> + B 235<sup>®</sup> should have been carried out at earlier growth stages. Nevertheless, the black-grass populations responded differently to this treatment even though none of the populations had been in contact with LAUDIS<sup>®</sup> before.

It is right and necessary to alternate between herbicides with different mode of action. But the impact of this alternation is limited. To stretch the duration of usefulness of herbicidal active ingredients, the product of number of seeds per field x number of herbicide treatments should be as low as possible. "Resistance is a number game" (KAUDUN, 2011).



## Acknowledgements

I wish to thank Daniela Röhling and Martin Laubrock for teamwork. Dr. Schleich-Saidfar, Gosswinth Warnecke-Busch, Bernhard Wiesmann, Eugen Winkelheide, Felix Haarstich, Gerd Dingebauer, Heinrich Steinhoff, Hermann Klockenbusch, Jens Heisrath, Karl-Josef Behr, Martin Grünewald, Thees Rewerts and in particular Thekla-Karina Niehoff and Eckhard Seemann for providing us with the black-grass samples. Thanks also to Dr. Alfons Schönhammer from BASF who took over the task of the PCR-analysis of "Seemann".

## References

- DROBNY, H.G., M. SALAS AND J.-P. CLAUDE, 2006: MANAGEMENT OF METABOLIC RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) POPULATIONS IN GERMANY – CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 65-72.
- EDMOND, J. AND J.C. CASELEY, 1997: THE ROLE OF PROPYZAMIDE IN MANAGEMENT OF HERBICIDE RESISTANT BLACK-GRASS IN OILSEED RAPE. THE 1997 BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE – WEEDS, **4C-8**, 351-357
- KAUDUN, D., 2011: BASICS IN GRASS AND DICOT WEED RESISTANCE – OCCURRENCE, MECHANISMS AND MANAGEMENT. SYNGENTA ANTI – RESISTANCE – INITIATIVE, EUROPEAN CONFERENCE, BERLIN, 27. JANUARY 2011.
- KRATO, C. AND J. PETERSEN, 2010: SITUATION OF HERBICIDE RESISTANCE OF MONOCOTYLEDON WEEDS IN GERMANY. 57. DEUTSCHE PFLANZENSCHUTZTAGUNG "GESUNDE PFLANZE – GESUNDER MENSCH", JULIUS KÜHN-ARCHIV **428**, 273.
- MENCK, B.-H., 1968: BIOLOGIE DES ACKERFUCHSSCHWANZES (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) UND SEINE VERBREITUNG IN SCHLESWIG-HOLSTEIN. DISSERTATION, CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT KIEL.
- MENENDES, J. AND R. DEPRADO, 1997: DETOXIFICATION OF CHLORTOLURON-RESISTANT BIOTYPES OF *ALOPECURUS MYOSUROIDES*. COMPARISON BETWEEN CELL CULTURES AND WHOLE PLANTS. PHYSIOLOGICAL PLANTARUM **99**, 97-104.
- MOSS, S.R. AND R. HULL, 2009: THE VALUE OF PRE-EMERGENCE HERBICIDES FOR COMBATING HERBICIDE-RESISTANT *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK-GRASS). ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY **91**, 79-86.
- PETERSEN, J., 2010: MULTIPLE RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*) RESISTANCE TO HERBICIDES IN GROUPS A/1, B/2, C2/7, AND K3/15 GERMANY. [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.COM/CASE/CASE.ASP?RESISTID=5361](http://www.weedscience.com/Case/Case.asp?ResistID=5361).
- RUBIN, B., 1996: HERBICIDE-RESISTANT WEEDS – THE INEVITABLE PHENOMENON: MECHANISMS, DISTRIBUTION AND SIGNIFICANCE. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XV**, 17-32.
- ZWERGER, P. AND H. WALTER, 1994: MODELLE ZUM MANAGEMENT HERBIZIDRESISTENTER UNKRAUTPOPULATIONEN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XIV**, 409-420.



## **Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes**

*Principles of resistance management for the control of *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* in the view of the official plant protection service*

Klaus Gehring<sup>1\*</sup>, Rolf Balgheim<sup>2</sup>, Ewa Meinschmidt<sup>3</sup> & Constanze Schleich-Saidfar<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, D-85354 Freising-Weihenstephan

<sup>2</sup>Regierungspräsidium Gießen, Pflanzenschutzdienst, Am Versuchsfeld 17, D-34128 Kassel

<sup>3</sup>Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Stübelallee 2, D-01307 Dresden

<sup>4</sup>Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Am Kamp 15-17, 24768 Rendsburg

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

DOI: 10.5073/jka.2012.434.010

### **Zusammenfassung**

Ackerfuchsschwanz und Windhalm gehören zu den wichtigsten Leitungsräsern im Ackerbau. Bei beiden Leitungsräserarten ist seit mehreren Jahren eine Zunahme von herbizidresistenten Biotypen bzw. Populationen vorhanden. Neben der Beachtung von ackerbaulichen Maßnahmen ist ein angepasstes Herbizidmanagement für die Verhinderung und Begrenzung der Resistenzentwicklung unverzichtbar. Dem Pflanzenschutzdienst kommt bei der Definition von geeigneten Anti-Resistenzstrategien mit einem sachgerechten Herbizidmanagement eine entscheidende Funktion als neutrale und unabhängige Institution zu. In dem Vortrag werden grundlegende Empfehlungen und Prinzipien für die Anwendung sachgerechter Ackerbautechniken und für die Umsetzung eines spezifischen Herbizidmanagements zur Resistenzvermeidung vorgestellt. Hierbei wird auf spezifische Aspekte bei der Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz und Windhalm in den unterschiedlichen Ackerbauregionen Deutschlands eingegangen. Die vorgestellten Konzepte sollen auch als Orientierung und Beratungsgrundlage für die Fachberatung der Pflanzenschutzmittelindustrie und des landwirtschaftlichen Handels dienen.

**Stichwörter:** Ackerfuchsschwanz, Gute Fachliche Praxis, Herbizidresistenz, Resistenz-management, Unkrautbekämpfung, Windhalm

### **Summary**

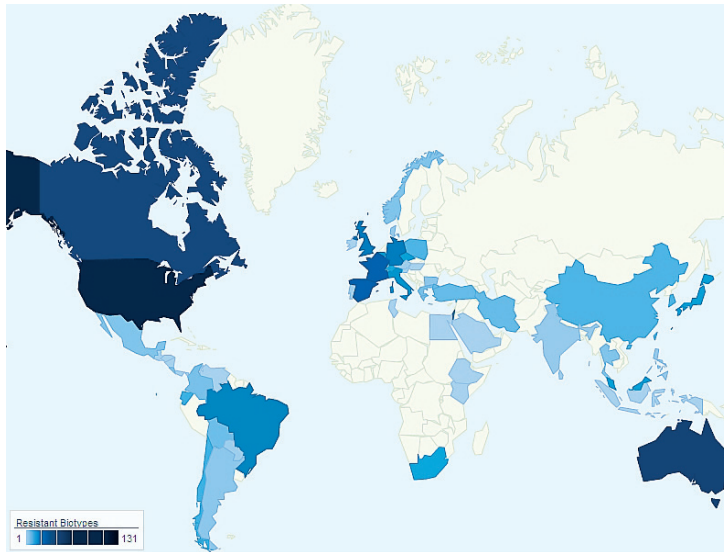
*Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* are the most important grass weeds on arable land. For many years, these grass species have shown a development of herbicide resistant biotypes and populations. Appropriate field techniques and herbicide control are absolutely essential for the prevention and limitation of resistance development. The official plant protection service has an decisive task as a neutral and independent institution for suitable anti-resistance strategies based on herbicide management. Basic recommendations and principles are presented for appropriate cropping strategies and the implementation of suitable, specific herbicide management techniques for the avoidance of resistance. Specific aspects of the control of *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* in different regions of Germany are discussed. The presented concepts are the basis for advice for the plant protection industry and the agricultural trade.

**Key words:** Best management practice, black-grass, herbicide resistance, loose silky-bent, resistance management, weed control

### **1. Einleitung**

Das Phänomen der Resistenz von Schaderregern gegenüber eingesetzten Pflanzenschutzmitteln wurde bei Insekten, Pilzen und Bakterien wesentlich früher als bei Unkräutern festgestellt. Die aktuelle Verteilungshäufigkeit von herbizidresistenten Unkräutern zeigt eine Konzentration der Problematik auf Länder mit intensivem Ackerbau, aber auch einseitigem Herbizideinsatz. Auf der Internetplattform „WeedScience.org“ sind weltweit 365 herbizidresistente Unkrautbiotypen bei 200 verschiedenen Arten dokumentiert. Hinsichtlich der betroffenen Herbizide sind Präparate aus der Gruppe der Triazine, der ACCase-Hemmer, der ALS-Hemmer und der Wirkstoff Glyphosate von größter Bedeutung (HEAP, 2011). Obwohl für das Auftreten einer Herbizidresistenz eine artspezifische Prädisposition einzelner Unkräuter ausschlaggebend ist, kann die Art und Intensität des Herbizideinsatzes als treibende Kraft für die Selektion herbizidresistenter Biotypen betrachtet

werden. Ein aktuelles Beispiel für diesen auf Aktion und Reaktion basierenden Prozess ist die dynamische Resistenzentwicklung gegenüber Glyphosat. Die seit dem Jahr 2000 bei 21 Unkrautarten festgestellte Glyphosat-Resistenz konzentriert sich im Wesentlichen auf Nord- und Südamerika in Ländern mit entsprechend intensivem Anbau von herbizidresistenten Kulturen (HEAP, 2011).



**Abb.1** Herbizidresistente Unkräuter weltweit 2011 (online Quelle: [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)).

**Fig. 1** *Herbicide resistant weeds globally 2011* (online source: [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)).

Das höchste Resistenzrisiko besteht offensichtlich hinsichtlich Fruchtfolge und Herbizideinsatz besonders in monotonen Anbausystemen. Auch der erste in Deutschland dokumentierte Fall von Herbizidresistenz bei *Stellaria media* gegenüber Atrazin (KEES, 1978) ist auf den langjährigen und intensiven Einsatz von Atrazin im Maisanbau zurückzuführen. Die in den Jahren 1980 bis 1988 berichteten Fälle von Herbizidresistenz bei verschiedenen dikotylen Unkräutern und bei *Poa annua* charakterisieren die erste praxisrelevante Resistenzproblematik aufgrund des exzessiven Triazin- bzw. Atrazin-Einsatzes im Maisanbau (KEES, 1988). Aktuell sind auf der Internet-Plattform „WeedScience.org“ für Deutschland 27 Resistenzfälle bei 18 verschiedenen Unkrautarten registriert (HEAP, 2011). Das absolute Hauptproblem in der Anbaupraxis ist hierbei die Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* (Ackerfuchsschwanz) und *Apera spica-venti* (Windhalm). Beide Arten gehören zu den wichtigsten Leitungsgräsern im deutschen Ackerbau. Aufgrund eines ökonomisch getriebenen Trends zu vereinfachten Fruchtfolgen mit einem hohen Wintergetreideanteil, reduzierter Bodenbearbeitung und zunehmend überbetrieblicher Erntetechnik ist, insbesondere bei Ackerfuchsschwanz, eine Ausbreitung der Befallsflächen und Erhöhung der Besatzdichten feststellbar. Im konventionellen Ackerbau ist eine effektive chemische Bekämpfung beider Ungräser mit einem Wirkungsgrad der eingesetzten Herbizide von mindestens 97 – 98 % erforderlich, um die Ungraspopulation nachhaltig kontrollieren zu können und das standortspezifische Ertragspotenzial im Getreidebau nicht zu gefährden. Das zunehmende Auftreten von herbizidresistenten Biotypen bzw. Populationen bei beiden Ungräsern gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ACCase-, ALS- und PS-II-Hemmer ist eine ernsthafte Gefährdung für den nachhaltig ökonomischen Ackerbau. Die in Tabelle 1 dargestellten Resistenzfälle können als „Spitze des Eisbergs“ betrachtet werden.

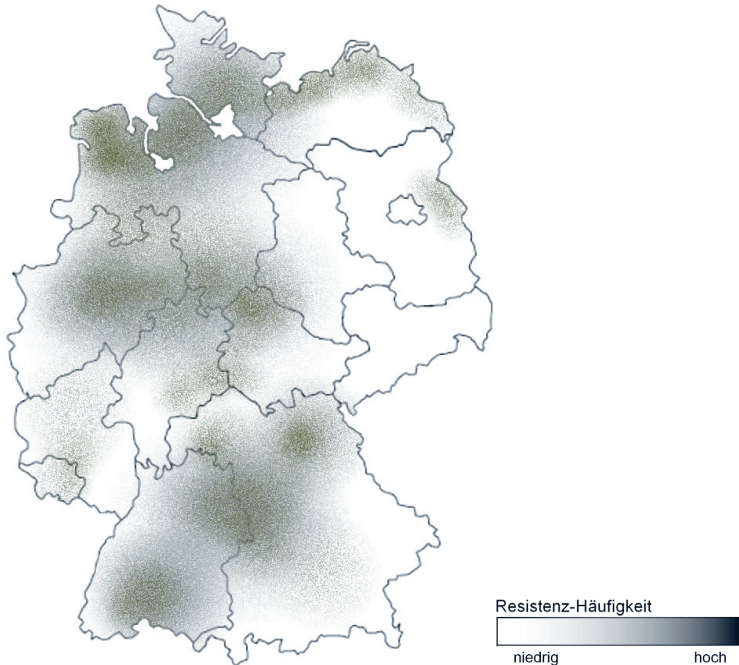
**Tab. 1** Herbizidresistenz bei Ungräsern in Deutschland.**Tab. 1** *Herbicide resistant grass weeds in Germany.*

Nr.	Art	Bezeichnung	Jahr	Wirkmechanismus*					Herbizide
				A	B	C1	C2	K3	
1	<i>Alopecurus myosuroides</i>	Acker-Fuchsschwanz	1983	●			●		Chlorotoluron, Fenoxaprop-P, Isoproturon
2			2001		●				Flupyrsulfuron
3			2003	●					Clethodim, Cycloxydim, Fenoxaprop-P, Fluazifop-P
4			2007	●	●		●	●	Chlorotoluron, Fenoxaprop-P, Flufenacet, Isoproturon, Mesosulfuron, Pinoxaden
5			2009	●	●				Cycloxydim, Fenoxaprop-P, Flupyrsulfuron, Mesosulfuron, Pinoxaden
6	<i>Apera spica-venti</i>	Windhalm	1997				●		Isoproturon
7			2005		●				Sulfosulfuron
8			2008		●				Chlorsulfuron, Flupyrsulfuron, Iodosulfuron, Mesosulfuron, Pyroxsulam, Sulfometuron, Sulfosulfuron
9			2009	●	●		●		Fenoxaprop-P, Iodosulfuron, Isoproturon, Pinoxaden, Sulfosulfuron
10			2010	●	●		●		Iodosulfuron, Isoproturon, Mesosulfuron, Pinoxaden, Pyroxsulam, Sulfosulfuron
11	<i>Lolium perenne</i>	Deutsches Weidelgras	2008	●	●				Iodosulfuron, Pinoxaden, Pyroxsulam
12			2010	●	●			●	Flufenacet, Iodosulfuron, Mesosulfuron, Pinoxaden, Pyroxsulam
13	<i>Poa annua</i>	Einjährige Rispe	1980				●		Atrazin

Quelle: [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)

\* = Klassifikation nach HRAC (Herbicide Resistance Action Committee): A = ACCase-Hemmer = Hemmung der Acetyl-CoA-Carboxylase; B = ALS-Hemmer = Hemmung der Acetolactat-Synthase; C1 = Photosystem II-Hemmer; C2 = Harnstoffderivate als PS-II-Hemmer; K3 = Zellteilungshemmer

In unterschiedlichen Monitoring-Programmen der Pflanzenschutzmittelindustrie, der Forschung und des Pflanzenschutzdienstes werden bei rund 75 % der Verdachtsproben von Ackerfuchsschwanz und bei ca. 30 % der Windhalmpollen Herbizidresistenzen festgestellt. Bei Ackerfuchsschwanz tritt besonders häufig Resistenz gegenüber ACCase-Hemmern auf (ca. 50 %), wobei die ALS-Resistenzen (ca. 35 %) eine dynamische Entwicklung aufweisen. Der Anteil an Resistenzen gegenüber PS-II-Hemmern liegt mit ca. 15 % auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Resistenzen gegenüber Herbiziden aus der HRAC-Gruppe K3 treten nur in seltenen Einzelfällen auf. Bei Windhalm dominiert die ALS-Resistenz mit einem Anteil von ca. 70 % gegenüber der PS-II-Resistenz mit ca. 30 %. ACCase-Resistenz wird bei Windhalm nur in Einzelfällen beobachtet (KRATO und PETERSEN, 2010). Bei beiden Ungräsern ist bisher die metabolische Resistenz der hauptsächliche Resistenzmechanismus, wobei bei der Entwicklung von resistenten Ackerfuchsschwanz-Populationen zunehmend Biotypen mit zusätzlicher Target-Site-Resistenz auftreten. Bei der ALS-Resistenz von Windhalm tritt Target-Site-Resistenz als relativ häufiger Resistenzmechanismus auf (MASSA et al., 2011). Kreuzresistenzen und multiple Resistenz sind bei beiden Ungräsern häufig mit der zunehmenden Resistenzentwicklung in den einzelnen Populationen vorhanden (AUGUSTIN, 2010).



**Abb. 2** Verteilung der ACCase-Resistenz bei Acker-Fuchsschwanz in Deutschland\*.

**Fig. 2** *Distribution of ACCase-resistant black-grass in Germany.*

\*) Nach Angaben der Pflanzenschutzmittel-Industrie, des Pflanzenschutzdienstes und der Agrar-Forschung

Die Verbreitung der Herbizidresistenz weist bei Ackerfuchsschwanz eine Konzentration an der norddeutschen Küstenmarsch und in den intensiveren Ackerbauregionen der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein auf. Bei Windhalm ist keine regionale Konzentration der Resistenzproblematik feststellbar. Diese Situation deutet darauf hin, dass bei der Ackerfuchsschwanzresistenz die Kombination aus ackerbaulichen und herbizidspezifischen Risikofaktoren die treibende Kraft ist, während bei Windhalm primär herbizidspezifische Faktoren für die Resistenzentwicklung ausschlaggebend sind. Der Umfang an von Resistenz betroffenen Anbauflächen wird derzeit bei Ackerfuchsschwanz auf ca. 200 – 250 Tsd. Hektar und bei Windhalm auf 100 – 125 Tsd. Hektar geschätzt. Alleine durch die hierdurch notwendige Anpassung bei der Herbizidbehandlung (Mittelwahl, Aufwandmenge, Anwendungshäufigkeit, etc.) fallen in der deutschen Landwirtschaft etwa 15 – 25 Mio. € zusätzlicher Produktionskosten pro Jahr an.

Im Rahmen des gesetzlichen Auftrages hat der Deutsche Pflanzenschutzdienst nicht nur die Aufgabe, das Auftreten von herbizidresistenten Unkräutern zu beobachten, sondern vielmehr auch der Produktionspraxis über die Beratung geeignete Maßnahmen und Konzepte zu vermitteln, um die Ausbreitung von Resistenzen auf betrieblicher und regionaler Ebene zu vermeiden. Neben den bereits angesprochenen ökonomischen Aspekten stellt die Herbizidresistenz ein erhebliches Risiko für die Absicherung des standortspezifischen Ertragspotenzials und damit für die nachhaltige Nahrungsmittelversorgung dar. Falls die derzeit verfügbaren Herbizide keine ausreichende Bekämpfungsleistung aufgrund von Herbizidresistenz ermöglichen, sind mittelfristige Produktionsverluste von 300 – 600 Tsd. Tonnen Getreide pro Jahr in Deutschland zu erwarten.

## **2. Generelle Empfehlungen für die nachhaltige Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz und Windhalm**

Im konventionellen Ackerbau erfolgte die Unkrautkontrolle durch verschiedene chemische und nicht-chemische Maßnahmen im Rahmen einer mehrgliedrigen Fruchtfolge. Durch eine zunehmende Spezialisierung und ökonomische Optimierung ist seit den 1970er Jahren eine regional unterschiedlich stark geprägte Vereinfachung der Anbausysteme feststellbar. Insbesondere bei reinen Marktfruchtbaubetrieben besteht die Tendenz zu sehr einfachen Fruchtfolgen mit einem hohen Wintergetreideanteil und reduzierter Bodenbearbeitung. Durch die ebenfalls zunehmende Vorverlegung der Winterweizensaat in den September wird die Entwicklung und Ausbreitung von Ackerfuchsschwanz und Windhalm stark begünstigt. In der Konsequenz erhöht sich die Abhängigkeit von einem effektiven Einsatz selektiver Herbizide im Getreidebau. Der damit erhöhte Selektionsdruck löste ab den 1980er bis 1990er Jahren eine erkennbare Resistenzdynamik bei beiden Leitungsräsern aus (NIEMANN und PESTEMER, 1984; ZWARGER et al., 1996; ARLT, 1998; KRATO und PETERSEN, 2010).

Das Hauptziel eines nachhaltigen Resistenzmanagements ist es, die standortspezifische Entwicklung von schwer bekämpfbaren Ackerfuchsschwanz und Windhalm so weit wie möglich zu begrenzen. Neben einem optimierten Herbizidmanagement ist dafür die Umsetzung von ackerbaulichen Maßnahmen unverzichtbar. Auch wenn hierdurch kurzfristig höhere Produktionskosten oder verminderte Marktleistungen anfallen, ist auf lange Sicht ein wirkungsvolles Resistenzmanagement durch die Absicherung des Standort-Ertragspotenzials auch ökonomisch erfolgreich (MOSS, 1997; ZWARGER et al., 2002).

### **2.1 Ackerbauliche Maßnahme**

Das Wissen über die artspezifische Entwicklung verschiedener Unkrautarten und über die ebenfalls spezifische Resistenzentwicklung sind wesentliche Faktoren, um ein Anbausystem zu entwickeln, das eine bereits vorhandene Resistenz reduzieren oder die Resistenzentwicklung verhindern bzw. verzögern kann. Obwohl Landwirte im Vorfeld von resistenzbedingten Bekämpfungsproblemen kaum bereit sind, ihre spezifische Ackerbautechnik zu verändern, kann nach allen bisherigen Erkenntnissen eine Resistenzentwicklung von Ackerfuchsschwanz und Windhalm alleine durch ein sachgerechtes Herbizidmanagement nicht verhindert werden. Da bei beiden Ungräsern kein Fitnessunterschied zwischen resistenten und sensitiven Biotypen besteht, leisten ackerbauliche Maßnahmen keinen Selektionsdruck auf die Zusammensetzung der Population. Das primäre Ziel von nicht-chemischen Maßnahmen ist die Entwicklung beider Ungräser möglichst effektiv zu behindern. Die Ackerbautechnik der letzten Jahrzehnte hat ein zunehmend „ungrasfreundliches Umfeld“ geschaffen. Die Implementierung von nicht-chemischen Anti-Resistenzmaßnahmen steht daher häufig im gegenläufigen Trend zum „modernen Ackerbau“. Insbesondere ökonomische Aspekte dürfen daher nicht kurzfristig betrachtet, sondern müssen als Beitrag für einen nachhaltig leistungsfähigen Ackerbau bewertet werden (ORSON und HARRIS, 1997). Nachfolgend aufgelistete Maßnahmen sollten mit dem Ziel einer bestmöglichen Unterdrückung von Ackerfuchsschwanz bzw. Windhalm in ein betriebsspezifisches Anbaukonzept integriert werden (FACHAUSSCHUSS HERBIZIDRESISTENZ am JKI, 2009):

- Vielfältige Fruchtfolge mit einem begrenzten Wintergetreideanteil (> 50 %)
- Regelmäßige Pflug-Bodenbearbeitung
- Mechanische Bekämpfung, insbesondere bei der Stoppelbearbeitung
- Spätere Wintergetreide-Saattermine
- Etablierung konkurrenzstarker Getreidebestände
- Vermeidung der Einschleppung von resistenten Ungrassamen über z.B. Erntegeräte oder Saatgut.

### **2.2 Herbizid-Management**

Maßnahmen der chemischen Unkrautkontrolle können nicht losgelöst vom jeweiligen Anbausystem betrachtet werden. Da im konventionellen Ackerbau aus Sicht der Ertragsabsicherung nicht auf die

chemische Unkrautkontrolle verzichtet werden kann, ist der Herbizideinsatz hinsichtlich der Resistenzentwicklung tatsächlich ein zweischneidiges Schwert (KUDSK und STREIBIG, 2003). Einerseits ist die Herbizidbehandlung die Basis für die Absicherung des standortspezifischen Ertragspotenzials, andererseits wird damit die Selektion herbizidresistenter Biotypen ausgelöst. Die Herbizidbehandlung ist somit der Motor der Resistenzentwicklung. Obwohl für eine wissenschaftliche Analyse der Resistenzmechanismus (z.B. metabolische Resistenz, Target-Site-Resistenz) und die wirkungsspezifische Ausprägung (z.B. Kreuzresistenz, multiple Resistenz) wesentliche Faktoren darstellen, sind für die Beratung und Etablierung eines betriebsspezifischen Herbizid-Managements zur Resistenzvermeidung prinzipielle Vorgaben und Empfehlungen zu berücksichtigen (MOOS, 1997; ZWARGER et al., 2002; BALGHEIM, 2006; RAFFEL et al., 2010):

1. Wirkstoffgruppen mit einem hohen Resistenzrisiko wie ALS-, ACCase- und PS-II-Hemmer sollten nicht regelmäßig und als einzige Wirkmechanismusklassen zur Bekämpfung resistenzgefährdeter Unkräuter bzw. Ungräser eingesetzt werden.
2. Herbizide aus weniger resistenzgefährdeten Wirkmechanismusklassen (HRAC: E, F, K, N) sollten regelmäßig in Behandlungskonzepten in Tankmischungen oder Spritzfolgen integriert werden.
3. Im Rahmen der Fruchtfolge und bei Bedarf auch in Behandlungsfolgen innerhalb einer Kultur ist ein regelmäßiger Wechsel der Wirkmechanismusklassen, insbesondere der stark resistenzgefährdeten ALS- und ACCase-Hemmer (HRAC: A, B), planmäßig durchzuführen.
4. Bei der jeweiligen Herbizidbehandlung ist die Auswahl der einzusetzenden Präparate hinsichtlich der Anwendungsbedingungen (z.B. Klimabedingungen, Unkrautentwicklung) zu optimieren. Die Aufwandmengen sind so zu gestalten, dass eine sichere Bekämpfung mit ausreichend hohen Wirkungsgraden erzielt wird.
5. Die Anwendungstechnik (z.B. Düsenteknik, Wasseraufwand und –qualität) ist für eine sichere Bekämpfungsleistung zu optimieren.
6. Bei erforderlichen Tankmischungen sind die Mischungskomponenten so zu wählen, dass keine antagonistischen Effekte einzelner Herbizide (z.B. ACCase-Hemmer zur Ungrasbekämpfung) auftreten.
7. Soweit als möglich sind Ergänzungen mit Zusatzstoffen zur Wirkungsabsicherung von z.B. ACCase- und ALS-Hemmern vorzunehmen.
8. Durch die Anwendung von nicht-selektiven Herbiziden (z.B. Stoppelbehandlung, Sikkation) sollte die Ausbreitung und Entwicklung resistenzgefährdeter Unkrautarten gezielt verhindert werden.

In der Nachfolge von Bekämpfungsmaßnahmen sollte die Bekämpfungsleistung kontrolliert und gegebenenfalls teilflächenspezifisch dokumentiert werden, um eine Resistenzentwicklung frühzeitig feststellen zu können. Im Verdachtsfall sind Resistenzuntersuchungen erforderlich, um bei Bedarf ein wirkstoff- bzw. wirkmechanismusspezifisches Herbizidmanagement entwickeln zu können. Die Optimierung einer Herbizidstrategie ist sowohl auf die anwendungsspezifisch höchste Bekämpfungsleistung, als auch auf die Absicherung der langfristigen Wirksamkeit der verfügbaren Wirkmechanismusklassen auszurichten. Die grundsätzliche Entscheidung zum Einsatz ist u.a. mit Hilfe der wirtschaftlichen Schadensschwellen zu klären.

### **3. Spezifische Empfehlungen in einzelnen Bundesländern**

Das Auftreten von Herbizidresistenz ist bei beiden Leitungräsern in den Bundesländern unterschiedlich ausgeprägt. Da sich auch die Betriebs- und Anbauverhältnisse regional teilweise stark unterscheiden, wurden in den Bundesländern unterschiedliche Konzepte zur Resistenzvermeidung entwickelt. Während ackerbauliche Maßnahmen weitgehend universell angewendet werden können, geht es hierbei insbesondere um ein regionalspezifisches Herbizid-Management. In einigen stark betroffenen Regionen, wie z.B. bei der ACCase-Resistenz von Ackerfuchsschwanz, steht hierbei nicht mehr die Resistenzvermeidung sondern die Abschwächung der Resistenzdynamik im Vordergrund.



### 3.1 Bayern

Der bayerische Pflanzenschutzdienst führt seit 2004 ein systematisches Resistenzmonitoring bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm durch. Die angewendete Untersuchungsmethodik basiert auf einem Biotest (PETERSEN et al., 2010), der im Einzelfall durch molekulargenetische Untersuchungen hinsichtlich einer Target-Site-Resistenz ergänzt wurde. In der praktischen Relevanz dominiert die Resistenzproblematik bei Ackerfuchsschwanz. Hier sind bereits einzelne Regionen mit verbreiteten, resistenzbedingten Wirkungsverlusten bei ACCase-Hemmern (nördliches Schwaben, westliches Mittelfranken, Coburger Land) vorhanden. Im Gegensatz zum Windhalm haben sich die Befallsflächen mit Ackerfuchsschwanz in den letzten 20 Jahren erheblich ausgebreitet. Dabei treten auch in neuen Ackerfuchsschwanz-Gebieten, wie etwa in Niederbayern, Resistenzprobleme auf. Beim Ackerfuchsschwanz hat die ACCase-Resistenz mit einem Anteil von ca. 60 %, gefolgt von der ALS-Resistenz mit 25 %, die größte Bedeutung. Resistenzen gegenüber PS-II-Hemmern (vorwiegend Chlortoluron) und Zellwachstumshemmern (vorwiegend Pendimethalin) treten mit jeweils 7 % nur in Einzelfällen auf (GEHRING et al., 2010).

Für die direkte Ackerfuchsschwanz-Bekämpfung in Wintergetreide unterscheiden sich die Empfehlungen je nach Getreideart und Besatzdichte. Im Normalfall, d.h. auf Flächen mit bis zu 100 Pfl./m<sup>2</sup> ist eine Einmalbehandlung im Herbst als Kombination von boden- und blattaktiven Herbiziden ausreichend. Als Bodenkomponenten werden Präparate auf der Basis von Flufenacet und Pendimethalin eingesetzt. Die blattaktive Ergänzung erfolgt in Wintergerste mit Pinoxaden und auf Flächen mit uneingeschränkter Sensitivität auch mit Fenoxaprop-P. Bei Winterweizen, -roggen und -triticale werden im Herbst Bodenherbizide primär mit Flupyrсульфuron kombiniert. Nur in Fällen von sehr leicht bekämpfbarem Ackerfuchsschwanz werden auch noch IPU-Lösungen mit z.B. Pendimethalin + Isoproturon eingesetzt. Im Winterweizen wird der Großteil der Behandlungen (ca. 80 – 90 %) im Frühjahr durchgeführt. Die Wirkstoffbasis sind hierbei ALS-Hemmer (Propoxycarbazone, Mesosulfuron + Iodosulfuron, Pyroxsulam). Nur in Weizen-lastigen Fruchtfolgen werden zum Wirkmechanismuswechsel auch ACCase-Hemmer (Fenoxaprop-P, Clodinafop, Pinoxaden) eingesetzt. Auf Standorten mit schwer bekämpfbarem Ackerfuchsschwanz wird die Frühjahrsbehandlung durch eine Vorlage mit Flufenacet im Herbst unterstützt. Zur Vermeidung einer ALS-Target-Site-Resistenz kann die im Maisanbau übliche Sulfonylharnstoffbehandlung durch die Wirkstoffkombination mit Terbuthylazin + Tembotrione oder mit Cycloxydim in Duo<sup>®</sup>-Mais ersetzt werden.

Bei Windhalm dominiert in Bayern die ALS-Resistenz mit einem Anteil von ca. 70 % und einer erheblichen Resistenzdynamik. In etwa 30 % der Fälle tritt Resistenz gegenüber PS-II-Hemmern, respektive Isoproturon (IPU) auf. Resistenzen gegenüber Herbiziden aus der HRAC-Klasse A bzw. K3 und gegenüber Chlortoluron (CTU) wurden bisher noch nicht festgestellt (GEHRING et al., 2010). Die Windhalmbekämpfung erfolgt im Wintergetreide bei Saatterminen bis zur ersten Oktoberdekade mit Bodenherbiziden auf der Basis von Flufenacet, Flurtamone, Pendimethalin und Prosulfocarb. Als Alternative kommen auch Flumioxazin, Beflubutamid und Chlortoluron in Betracht. Gegenüber bereits im Herbst weiterentwickeltem Windhalm können die Bodenherbizide mit Pinoxaden ergänzt werden. Die im Winterweizen vorwiegend im Frühjahr durchgeführten Behandlungen werden häufig mit ALS-Hemmern (Iodosulfuron, Propoxycarbazone, Pyroxsulam, Sulfosulfuron) ausgestattet. Zur Vermeidung einer ALS-Resistenz sollte durch den alternativen Einsatz von Pinoxaden die ALS-Behandlungsquote im Getreidebau auf maximal 50 % begrenzt werden.

### 3.2 Hessen

Ackerfuchsschwanz und Windhalm sind heute wichtige Ungräser der hiesigen Winterungsfruchtfolgen. Die stetigen Änderungen der ackerbaulichen Rahmenbedingungen hin zu intensiven Wintergetreidefruchtfolgen haben inzwischen dazu geführt, dass beide Ungrasarten in den wichtigsten Ackerbaugebieten Hessens vergesellschaftet vorkommen. Ausgelöst durch Berichte über eine Resistenzentwicklung bei beiden Ungräsern gegenüber den wichtigsten herbiziden Wirkungsklassen und eigenen Beobachtungen ist seit etwa 2002 die Ungrasbekämpfung ein zentrales Thema in der hessischen Pflanzenschutzberatung. Seit 2008 werden jährlich Ackerfuchsschwanzproben hinsichtlich ihrer Sensitivität überprüft, wobei sich der Test auf die beiden

Sulfonylharnstoff-Herbizide Lexus (Flupyrsulfuron) und Atlantis WG/OD (Mesosulfuron + Iodosulfuron) sowie auf den ACCase-Hemmer Topik 100 (Clodinafop) erstreckt. Bei den in den Jahren 2008 bis 2010 gesammelten Proben erwiesen sich bei Topik 38 %, bei Lexus 43 % und bei Atlantis WG/OD 25 % der Herkünfte als nicht mehr ausreichend sensitiv. Zur Sensitivitätsverschiebung des Windhalmes liegen keine eigenen Untersuchungen vor. Beobachtungen aus der Praxis deuten allerdings darauf hin, dass beim Windhalm mit einer ähnlichen Entwicklung zu rechnen ist, die möglicherweise eine noch schnellere Resistenzdynamik als bei Ackerfuchsschwanz aufweist.

Das Beratungskonzept zur Resistenzvermeidung fußt in Hessen auf einem komplementären System aus ackerbaulichen Maßnahmen und einem optimalen Herbizideinsatz, der nicht nur den sinnvollen Wechsel der Wirkungsklassen in einem Fruchtfolgeglied, sondern ebenso in der gesamten Fruchtfolge einschließt. In einem ersten Schritt sind Ungraspopulationen durch ackerbauliche Maßnahmen in ihrer Entwicklung zu begrenzen, während im zweiten Schritt Herbizide unter Berücksichtigung ihrer Wirkungsweisen und unter optimalen Bedingungen eingesetzt werden müssen, um regelmäßig hohe Wirkungsgrade zu erzielen.

In der Beratung bestimmen Populationsdichte, Wintergetreideart und Aussaattermin die Vorgehensweise bei der Ausrichtung des Herbizidmanagements. Liegen aus den örtlichen Erfahrungen heraus die Populationsdichten bei ca. 100 bis 150 Ackerfuchsschwanzähren/m<sup>2</sup>, reicht bei nicht zu frühen Aussaatterminen erfahrungsgemäß eine Kombination aus Boden- und Blattherbizid im Herbst aus. Zum Einsatz kommen beispielsweise die Wirkstoffe Pendimethalin/Flufenacet + Flupyrsulfuron bei allen Wintergetreidearten außer bei Wintergerste, bei letzterer ist der blattwirksame Wirkstoff Pinoxaden einzusetzen. Bei Winterweizenspätisaaten konzentriert sich die Wirkstoffpalette im Frühjahr auf die ALS-Hemmer Mesosulfuron + Iodosulfuron, Pyroxulam oder Propoxycarbazone. Bei sehr frühen Weizenaussaaten und hohen Ackerfuchsschwanzdichten wird im Herbst ein Bodenwirkstoff eingesetzt und im Frühjahr einer der vorbeschriebenen ALS-Hemmer nachgelegt. Das gleiche Prinzip gilt auch bei entsprechenden Voraussetzungen bei der Wintergerste, hier wird im Frühjahr allerdings anstelle der Sulfonylharnstoffe der Wirkstoff Pinoxaden verwendet.

Bei der Windhalmbekämpfung ist unter Beachtung von z. T. veränderter Aufwandmengen und eines erweiterten Wirkungsspektrums (Flurtamone, Chlortoluron, IPU) prinzipiell die gleiche Vorgehensweise angezeigt, wie bei der Bekämpfung des Ackerfuchsschwanzes. Bei einer Vergesellschaftung von Ackerfuchsschwanz und Windhalm gilt die zugelassene Aufwandmenge für die Bekämpfung des Ackerfuchsschwanzes. Das hessische Beratungskonzept lehnt eine Reduzierung von Aufwandmengen generell ab.

In der Regel werden die Wintergetreidefruchtfolgen mit einem Winterraps-Fruchtfolgeglied durchbrochen. Hier hat sich bei der Ungrasbekämpfung der Wirkstoff Propyzamid auf Standorten mit schwer bekämpfbaren Ackerfuchsschwanz als Standardmaßnahme etabliert.

In den zurückliegenden Jahren ist in der Beratung festzustellen, dass sich zumindest gut ausgebildete Betriebsleiter dieser Bekämpfungsstrategie ansatzweise geöffnet haben. Während in der Beratung jedoch die Resistenzvermeidungsstrategie zunächst auf ackerbaulichen Faktoren wie Aussaattermin und Fruchtfolge setzt, gefolgt vom überlegten Herbizideinsatz, scheut sich die Praxis, dieser Reihenfolge zu folgen. Die zurzeit herrschenden ackerbaulichen Gegebenheiten wie enge Winterungsfruchtfolgen und frühe Aussaattermine bleiben so lange wie möglich unangetastet: zunächst wird versucht, der Problematik mit einem Wechsel der HRAC-Klassen zu begegnen und erst in letzter Konsequenz die ackerbaulichen Möglichkeiten zu nutzen.

### **3.3 Sachsen**

In Sachsen hat der Windhalm von den Ungräsern nach wie vor die größte Bedeutung. In den letzten Jahren werden Minderwirkungen bei der Windhalmbekämpfung, insbesondere nach der Anwendung im Frühjahr, registriert. In der Praxis werden dennoch ca. 40 % der Herbizidbehandlungen in Wintergetreide im Frühjahr durchgeführt.

Seit 2009 überprüft der Pflanzenschutzdienst die Verdachtsproben von Windhalm- und Ackerfuchsschwanzstandorten mit Minderwirkungen auf ihre Sensitivität. Die Resistenzuntersuchungsergebnisse der Windhalmproben haben ergeben, dass auch in Sachsen ALS-Resistenzen und Resistenzen gegenüber PS II-Hemmern (Chlortoluron, Isoproturon) sowie im Einzelfall gegenüber ACCase-Hemmern (Pinoxaden) nachgewiesen wurden. In den meisten Untersuchungsfällen lagen die Wirkungsgrade bei 50 bis 80 %. Deutlich dominiert die Resistenz gegenüber ALS-Hemmern. Betroffen sind Standorte, auf denen verstärkt Sulfonylharnstoffe im Herbst und/oder im Frühjahr mehrjährig appliziert wurden. Beobachtungen aus der Praxis im Jahre 2011 zeigen, dass nach der Anwendung von Sulfonylharnstoffen zunehmend auf einzelnen Standorten Minderwirkungen auftreten. Gegenwärtig ist allerdings davon auszugehen, dass resistenter Windhalm bisher nur auf einem Flächenanteil von weniger als 1 % der Getreideanbaufläche vorkommt. Im Gegensatz zu anderen Bundesländern, in denen die Resistenznachweise in den letzten Jahren zugenommen haben, besteht in Sachsen noch die Möglichkeit, die Selektion von resistenten Biotypen zeitlich hinauszuzögern. Eine der Ursachen für die später auftretenden Sulfonylharnstoffresistenzen beim Windhalm ist die noch bis Mitte der neunziger Jahre praktizierte viergliedrige Fruchtfolge.

Im Rahmen des Antiresistenzmanagements wird empfohlen, die Herbizidanwendungen zur Windhalm-Bekämpfung, außer in spät gesättem Weizen, vorwiegend im Herbst durchzuführen. Hier steht eine Vielzahl der über den Boden wirkenden Wirkstoffe der HRAC-Einstufung F1 (Diflufenican, Flurtamone), K1 (Pendimethalin) und K3 (Flufenacet) zur Verfügung. Die Wirkstoffe der HRAC-Klassen N (Prosulfocarb) und E (Flumioxazin) sollten ebenso stärker in die Windhalmbekämpfung einbezogen werden. Bei witterungsbedingt unzureichenden Wirkungsgraden der Bodenherbizide sollte Axial 50 zur Nachbehandlung im Frühjahr genutzt werden. Da aber in der Regel eine breite Mischverunkrautung einschließlich Windhalm kontrolliert werden muss, sind die Tankmischungen nach den Leitunkräutern auszuwählen. Bei der Vergesellschaftung von *Apera spica-venti* mit *Centaurea cyanus* (Kornblume) kann auf den Wirkstoff Flupyrsulfuron nicht generell verzichtet werden. Im Frühjahr kommen vorwiegend ALS-Hemmer, z.B. eine Kombination aus Iodosulfuron + Mesosulfuron, Propoxycarbazone, Pyroxulam und Sulfosulfuron zum Einsatz. Als Alternative zu ALS-Hemmern werden Herbizide auf der Basis von Isoproturon und Chlortoluron empfohlen, soweit es die Anwendungsbedingungen zulassen.

Der Ackerfuchsschwanz gehört in Sachsen noch nicht zur Leitunkrautflora. Er nimmt aber örtlich sowohl in der Verbreitung als auch in der Befallsstärke zu. Bei der Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz gilt im Prinzip die gleiche Vorgehensweise wie beim Windhalm. Es sind im Herbst die Herbizide mit der HRAC Einstufung F1, K1 und K3, allerdings in höheren Aufwandmengen, zu bevorzugen. In Wintergerste werden bei geringeren Ackerfuchsschwanz-Besatzdichten Mischungen von Bodenherbiziden auf der Basis von Flufenacet und Pendimethalin in Ergänzung mit Pinoxaden empfohlen. In Winterweizen, -roggen und -triticale kommen entsprechende Mischungen der Wirkstoffe Flufenacet und Pendimethalin mit Flupyrsulfuron zum Einsatz. In früh gesäten Kulturen und höheren Besatzdichten wird häufig zuerst ein Bodenherbizid appliziert und eine Nachbehandlung im Spätherbst mit Pinoxaden bzw. im zeitigen Frühjahr mit Mesosulfuron + Iodosulfuron oder mit Pyroxulam (beide nicht in Gerste) durchgeführt. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass in ca. 80 % der Fälle, unabhängig von der Ackerfuchsschwanzdichte, eine Nachbehandlung im Herbst oder Frühjahr notwendig war. Unter günstigen Bodenbedingungen ist die Mischung von Flufenacet und Prosulfocarb besonders in den von Resistenz gefährdeten Gebieten von Bedeutung, da die beteiligten Wirkstoffe hinsichtlich der Resistenzbildung noch nicht belastet sind. Nur bei geringerem Selektionsdruck wird Isoproturon eingesetzt. In spät gesättem Weizen kommen die ALS-Hemmer Mesosulfuron + Iodosulfuron, Propoxycarbazone oder Pyroxulam im Frühjahr zur Anwendung.

Im Rahmen des Antiresistenzmanagements sollte eine Ungrasbekämpfung über die gesamte Fruchtfolge erfolgen. In Winterraps ist Propyzamid mit der HRAC Einstufung K1 zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz und Windhalm bevorzugt einzusetzen. Im sächsischen Beratungssystem bilden ackerbauliche Maßnahmen wie Fruchtfolgen, Saattermine, Bodenbearbeitung, Sortenwahl und ein überlegter Herbizideinsatz ein komplementäres System. Aufgrund von ökonomischen Zwängen

werden in der Praxis leider einige Bausteine des Resistenzmanagements, wie z.B. die Erweiterung der Fruchtfolge, nur schwer umgesetzt. Aufgrund der hohen Priorität des Bodenschutzes in Sachsen werden die pfluglosen Bodenbearbeitungsmaßnahmen über Agrarumweltmaßnahmen gefördert. Bei der Bekämpfung von Ungräsern sind Wirkungsgrade von mindestens 97 – 98 % anzustreben. Die Grundregel ist die Anwendung von Herbiziden mit unterschiedlichem Wirkungsmechanismus innerhalb einer Fruchtfolge. Da insbesondere ALS-Hemmer und die ACCase-Hemmer ein hohes Resistenzrisiko haben, sollten diese jeweils nur einmal in der Fruchtfolge zum Einsatz kommen. Über amtliche Pflanzenschutzinformationen werden diese Antiresistenz-Strategien verstärkt der landwirtschaftlichen Praxis vorgestellt.

### 3.4 Schleswig-Holstein

In Schleswig-Holstein gab es bereits Anfang der 90er Jahre in den Marschen Ackerfuchsschwanzresistenzen gegenüber IPU und CTU, die sich auch nicht zurück entwickelt haben, als auf den Einsatz der Mittel verzichtet wurde. Mitte der 90er Jahre traten Resistenzen gegenüber den ACCase-Hemmern Fenoxaprop-P und Clodinafop auf (2010 in 44 % der untersuchten Proben aus der Marsch). Um 2000/2001 kamen Resistenzen gegenüber Flupyrsulfuron als Kreuzresistenzen zu ACCase-Hemmern hinzu. 2010 zeigte sich bei 94 % der untersuchten Proben aus der Marsch eine Minderwirkung von Lexus<sup>®</sup> (Flupyrsulfuron) gegenüber Ackerfuchsschwanz. Auch Axial 50<sup>®</sup> (Pinoxaden) wirkt zunehmend schlechter gegenüber Ackerfuchsschwanz (2010 bei 63 % der Proben aus der Marsch). Im Winterraps wirkt Focus Ultra<sup>®</sup> (Cycloxydim) nicht mehr überall ausreichend, 2010 waren davon 31 % der untersuchten Flächen aus der Marsch betroffen. Bei Kerb FLO<sup>®</sup> (Propyzamid) gibt es keine Probleme. Erste Ackerfuchsschwanzresistenzen gegenüber Atlantis<sup>®</sup> (Mesosulfuron + Iodosulfuron) wurden seit 2009 ebenfalls festgestellt. Auch im Östlichen Hügelland sind Resistenzen in den letzten Jahren zunehmend aufgetreten, aber bisher weniger ausgeprägt als in den Marschen. Im Östlichen Hügelland war der Ackerfuchsschwanz 2010 auf 18 % der untersuchten Standorte mit Topik 100<sup>®</sup> oder Axial 50 nicht mehr ausreichend zu bekämpfen, in 55 % der Fälle reichte die Lexus-Wirkung nicht mehr aus, in 9 % der Fälle konnte der Ackerfuchsschwanz mit Focus Ultra nicht ausreichend kontrolliert werden. Atlantis und Kerb FLO wirkten noch vollständig auf allen untersuchten Standorten im Östlichen Hügelland.

Die Gründe für das höhere Resistenzniveau beim Ackerfuchsschwanz in der Nördlichen Marsch liegen darin, dass seit den 80er Jahren dort Winterweizen in Monokultur angebaut wurde (mit steigender Betriebsgröße bei immer früheren Saatterminen) oder 4-5 Jahre Winterweizen, unterbrochen von einem Jahr mit Winterraps. Aufgrund der Resistenzsituation ist der Wintergerstenanbau dort bereits auf vielen Flächen gefährdet. Nur in Dithmarschen wird stärker auch auf Sommerkulturen gesetzt: Kohl, Möhren, Pflanzkartoffeln. Auf diesen Flächen sind die Resistenzen entsprechend weniger stark ausgeprägt. Im östlichen Hügelland wurde lange Zeit die Fruchtfolge Winterraps – Winterweizen – Wintergerste bevorzugt. In den letzten 10 Jahren hat aber auch dort der Winterweizenanteil auf Kosten der Wintergerste zugenommen. Außerdem wurde mit steigender Betriebsgröße stärker als in den Marschen auf den Pflug verzichtet.

Die Empfehlungen zur Ackerfuchsschwanzbekämpfung beinhalten daher in der Marsch eine starke Betonung der ackerbaulichen Maßnahmen und Fruchtfolgealternativen, auch vor dem Hintergrund, dass der eigentlich erforderliche Wirkstoffwechsel aufgrund bereits vorhandener Resistenzen an seine Grenzen stößt. Besonders das Einschalten von Sommerkulturen wird von der Beratung propagiert, wobei die Praxis dieser Empfehlung ungern folgt, erst dann, wenn bereits ausgeprägte Resistenzen auf den Flächen vorliegen. Maisanbau wird dabei von der Beratung nur bedingt als echte Alternative gesehen, da auch hier der Ackerfuchsschwanz im Schwerpunkt mit Sulfonylharnstoffen bekämpft wird, was den Selektionsdruck auf diese Wirkstoffklasse erhöht. Versuche mit Bodenherbiziden in Kombination mit Tembotrione zeigten bisher keine voll befriedigende Wirkung.

Wo auch Atlantis versagt, ist der Winterweizenanbau gefährdet. Sind Rindvieh-haltende Betriebe oder Biogasanlagen im Umfeld vorhanden, wird über mehrjährigen Mähgrasanbau, ggf. im Flächentausch, nachgedacht, um die Vermehrung des Ackerfuchsschwanzes zu bremsen und zumindest teilweise die Samenbank im Boden wieder zu reduzieren. Im nördlichen Nordfriesland sind

viele Biogasanlagen entstanden, die das zumindest anteilig ermöglichen.

Der Einsatz des Pfluges wird in der Marsch noch häufig als Standardmaßnahme angesehen. Wenn vom Wetter her möglich, wird empfohlen, nach einer Stoppelbearbeitung frühzeitig eine Pflugfurche durchzuführen und ein Saatbett für den Ackerfuchsschwanz zu schaffen, damit dieser soweit wie möglich vor der Saat des Winterweizens aufläuft und mit Glyphosat beseitigt werden kann. Danach sollte die Bestellung der Kultur mit möglichst wenig Bodenbewegung erfolgen, um keine neuen Ackerfuchsschwanzsamen (Lichtkeimer) in Keimstimmung zu bringen. Das Verfahren wird in der Praxis teilweise nachvollzogen. Auch beim Anbau von Sommerungen wird empfohlen, möglichst viel Ackerfuchsschwanz nach einer Herbstfurche auflaufen zu lassen und diesen im Spätherbst, spätestens vor der Saat der Sommerung mechanisch oder mit Glyphosat zu vernichten. Die dringende Empfehlung, erst Ende September oder im Oktober den Weizen zu säen, wird vor allem auf großen Betrieben nur zögernd umgesetzt. Außerdem wird viel zu wenig von der empfohlenen Möglichkeit Gebrauch gemacht, die eigenen Flächen auf Resistenzen testen zu lassen, was sinnvoll wäre, da die Resistenzsituation teilweise schlagspezifisch variieren kann.

Zum Herbizideinsatz in der Marsch wird im Winterweizen konsequent die Spritzfolge empfohlen, die sich in 10-jährigen Versuchen als die effektivste bewährt hat: Einsatz eines Flufenacet-haltigen Bodenherbizides spätestens im EC 07 - 09 des Ackerfuchsschwanzes mit 240 g/ha Flufenacet, auf Problemflächen, bzw. in Wintergerste, mit Zusatz von Boxer<sup>®</sup> (Prosulfocarb). Im Winterweizen Nachbehandlung mit 500 g/ha Atlantis WG + 1,0 l/ha FHS + Zusatz von 30 l/ha AHL (Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung) oder 10 kg/ha SSA (Schwefelsaurer Ammoniak) im März, solange der Ackerfuchsschwanz sich noch bestockt; in Wintergerste Axial-Nachbehandlung im Herbst. Die Beachtung optimaler Einsatzbedingungen und Düsentechnik wird intensiv kommuniziert. Atlantis als Herbstbehandlung wird nur bei sehr hohem Ackerfuchsschwanzdruck empfohlen und insgesamt nur eine Sulfonylharnstoff-Anwendung pro Jahr. Andere Sulfonylharnstoffe werden aufgrund der Resistenzsituation oder wegen ihrer geringeren Potenz gegen Ackerfuchsschwanz nicht mehr eingesetzt. Im Raps erfolgt eine konsequente Anwendung von Kerb FLO (Propyzamid) in voller Aufwandmenge.

Im Östlichen Hügelland wird in Weizen und Gerste ebenfalls der Einsatz von Bodenherbiziden in den Auflauf der Ungräser propagiert. Bei der Nachbehandlung eines blattaktiven Herbizides wird der Wechsel von ACCase-Hemmern zum Einsatz im späteren Herbst und Atlantis zum NAF-Termin im Weizen im jährlichen Wechsel empfohlen. In der Wintergerste ist die Nachbehandlung mit Axial 50 und im Winterraps mit einem DIM-Graminizid, z.B. Focus Ultra, im früheren Herbst bzw. Kerb FLO im Spätherbst oder Winter eine Standardempfehlung.

Windhalmresistenzen sind in Schleswig-Holstein wenig untersucht. Von Seiten der Beratung werden auch gegen Windhalm und Rispen-Arten Bodenherbizide mit dem Wirkmechanismus K1 bzw. K3 (ggf. auch IPU, CTU) für den frühen Herbsteinsatz mit z.B. 120 - 150 g/ha Flufenacet empfohlen. Nur in Spätsaaten werden blattaktive Herbizide zur Windhalmbekämpfung im Frühjahr bevorzugt.

#### **4. Diskussion**

Die Herbizidresistenz bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm ist ein ernsthaftes Risiko für die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Getreideanbaus in Deutschland. Bei beiden Leitungsräsern ist eine deutliche Dynamik in der Resistenzentwicklung vorhanden. Bei Ackerfuchsschwanz sind bereits großflächig betroffene Gebiete, wie z.B. die norddeutsche Küstenregion, aufgrund einer gleichartigen und „Ungras-freundlichen“ Bewirtschaftungsweise vorhanden. In diesen Gebieten geht es nicht nur um die Qualität, sondern auch um die Quantität der Herbizidresistenz bei Ackerfuchsschwanz. Rückblickend hat sich kontinuierlich eine Zunahme der Kreuzresistenzen und eine erhöhte Frequenz multipler Resistenzen in den betroffenen Populationen entwickelt. Im Verlauf dieser Entwicklung lastet die direkte chemische Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz letztlich ausschließlich auf der Wirksamkeit des Herbizids Mesosulfuron.

Bei Windhalm treten Resistenzen noch primär auf der Schlagebene bzw. bei einzelnen Betrieben auf. Die auffällige Betroffenheit der ALS-Wirkmechanismusgruppe ist aufgrund einer hohen Resistenzdynamik mit einem häufigen Auftreten von Target-Site-Resistenz von erheblicher Bedeutung. Wengleich bei der chemischen Bekämpfung noch auf alternative Herbizide aus anderen Wirkmechanismusgruppen ausgewichen werden kann, treten daher in der Produktionspraxis auch deutliche Bekämpfungsprobleme auf.

Das vom Pflanzenschutzdienst regional-spezifisch empfohlene Herbizidmanagement zur Vermeidung einer Herbizidresistenz bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm erscheint in vielen Fällen nur eine Möglichkeit zur Verzögerung der Resistenzentwicklung zu sein. Die zur Resistenzvermeidung vorrangig genannten kulturtechnischen Maßnahmen werden aus verschiedensten, u.a. auch kurzfristigen ökonomischen Gründen, in der landwirtschaftlichen Praxis nur sehr begrenzt aufgegriffen und umgesetzt. Unter diesen Aspekten erscheint eine weitere Ausbreitung der Herbizidresistenz bei den beiden wichtigsten Ungräsern im Getreidebau als unvermeidbar.

## Literatur

- ARLT, K., 1998: ERGEBNISSE EINES VIERJÄHRIGEN MONITORINGS ZUM AUFTRETEN VON HERBIZID-WIRKUNGSVERLUSTEN BEI DER BEKÄMPFUNG DES ACKERFUCHSSCHWANZGRASES *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVI**, 419-424.
- AUGUSTIN, B., 2010: WINDHALM-HERKUNFT AUS RHEINLAND-PFALZ MIT MULTIPLER HERBIZIDRESISTENZ. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 271-272.
- BALGHEIM, R., 2006: HERBIZIDRESISTENZ VERMEIDEN, WIRKSTOFFE ERHALTEN – EINE GEMEINSCHAFTSAUFGABE VON BERATUNG, FORSCHUNG UND PRAXIS AM BEISPIEL DES ACKERFUCHSSCHWANZ (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.). ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XX**, 49-56.
- DROBNY, H.G., M. SALAS AND C. DÉLYE, 2006: MANAGEMENT OF METABOLIC RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) POPULATIONS IN GERMANY – CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 65-72.
- FACHAUSSCHUSS HERBIZIDRESISTENZ AM JULIUS-KÜHN-INSTITUT, 2008: ACKER-FUCHSSCHWANZ - HERBIZIDRESISTENZ VERMEIDEN, WIRKSTOFFE ERHALTEN. INFORMATIONSLATT, JKI – BUNDESFORSCHUNGSINSTITUT FÜR KULTURPFLANZEN, BRAUNSCHWEIG.
- FACHAUSSCHUSS HERBIZIDRESISTENZ AM JULIUS-KÜHN-INSTITUT, 2009: HERBIZIDRESISTENZ – UNVERMEIDBAR? INFORMATIONSLATT, JKI – BUNDESFORSCHUNGSINSTITUT FÜR KULTURPFLANZEN, BRAUNSCHWEIG.
- GEHRING, K.; S. THYSSEN UND T. FESTNER, 2010: HERBIZIDRESISTENZ BEI *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. (ACKERFUCHSSCHWANZ) UND *APERA SPICA-VENTI* L. (WINDHALM) IN BAYERN. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 270-271.
- HEAP, I. AND H. LeBARON, 2001: INTRODUCTION AND OVERVIEW OF RESISTANCE. IN: POWLS, S.B. AND D.L. SHANER, 2001: HERBICIDE RESISTANCE AND WORLD GRAINS, PP. 1-22. CRC PRESS, BOCA RATON.
- KEES, H., 1978: BEOBACHTUNGEN ÜBER RESISTENZERSCHEINUNGEN BEI DER VOGELMIERE (*STELLARIA MEDIA*) GEGEN ATRAZIN IM MAIS. GESUNDE PFLANZE **30**, 137.
- KEES, H., 1988: DIE ENTWICKLUNG TRIAZINRESISTENTER SAMENUNKRÄUTER IN BAYERN UND ERFAHRUNGEN MIT DEREN BEKÄMPFUNG. GESUNDE PFLANZE **40**, 407-412.
- KERLEN, D., 2010: RESISTENZMANAGEMENT UND URSACHENANALYSE AM BEISPIEL VON ACKERFUCHSSCHWANZ UND GEMEINEM WINDHALM IN DEUTSCHLAND. JULIUS-KÜHN-ARCHIV, **428**, 275.
- KRATO, C. UND J. PETERSEN, 2010: SITUATION DER HERBIZIDRESISTENZ BEI UNGRÄSERN IN DEUTSCHLAND. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 273.
- KUDSK, P. AND J.C. STREIBIG, 2003: HERBICIDES – A TWO-EDGED SWORD. WEED RESEARCH, **43**, 90-102.
- MASSA, D., B. KRENZ AND R. GERHARDS, 2011: TARGET-SITE RESISTANCE TO ALS-INHIBITING HERBICIDES IN *APERA SPICA-VENTI* POPULATIONS IS CONFERRED BY DOCUMENTED AND PREVIOUSLY UNKNOWN MUTATIONS. WEED RESEARCH **51**, 294-303.
- MOSS, S.R., 1987: HERBICIDE RESISTANCE IN BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*). BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE, WEEDS, **3**: 879-886.
- MOSS, S.R., 1997: STRATEGIES FOR THE PREVENTION AND CONTROL OF HERBICIDE RESISTANCE IN ANNUAL GRASS WEEDS. IN: DE PRADO, R., J. JORRIN AND L. GARCIA-TORRES, 1997: WEED AND CROP RESISTANCE TO HERBICIDES, PP. 283-290. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, DORDRECHT.
- MOSS, S.R., 2002: HERBICIDE-RESISTANT WEEDS. IN: NAYLOR, R.E.L., 2002: WEED MANAGEMENT HANDBOOK, PP. 225-252. BLACKWELL, OXFORD.
- MONACO, T.J., S.C. WELLER AND F.M. ASHTON, 2002: WEED SCIENCE – PRINCIPLES AND PRACTICES. JOHN WILEY & SONS, NEW YORK.
- NIEMANN, P. UND W. PESTEMER, 1984: RESISTANCE OF BLACKGRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*) FROM DIFFERENT SITES TO HERBICIDES. NACHRICHTENBLATT DES DEUTSCHEN PFLANZENSCHUTZDIENSTES **36**, 113-118.

- NIEMANN, P. UND P. ZWERGER, 2006: ÜBER HERBIZIDRESISTENZEN BEI *APERA SPICA-VENTI* (L.) P.B.. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XX**, 81-88.
- ORSON, J.H. AND D. HARRIS, 1997: THE TECHNICAL AND FINANCIAL IMPACT OF HERBICIDE RESISTANT BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*) ON INDIVIDUAL FARM BUSINESSES IN ENGLAND. BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE, WEEDS **3**, 1127-1132.
- PETERSEN, J., K. GEHRING, B. GEROWITT, H. MENNE UND H. NORDMEYER, 2010: ERGEBNISSE EINES RINGTESTES ZUR FESTSTELLUNG DER HERBIZIDRESISTENZ BEIM ACKERFUCHSSCHWANZ. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 275-276.
- RAFFEL, H., J. PETERSEN, J. GORNIK UND D. KAUNDUN, 2010: UNGRASRESISTENZ – WAS MÜSSEN WIR TUN UM DIE LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON WIRKSTOFFEN ZU ERHALTEN? JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 274.
- READ, M.A., J.J. PALMER AND S. HOWARD, 1997: AN INTEGRATED STRATEGY FOR THE SUCCESSFUL MANAGEMENT OF HERBICIDE RESISTANT *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK GRASS) IN THE UK. BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE, WEEDS **1**, 343-350.
- ZWERGER, P., 1994: DEALING WITH HERBICIDE-RESISTANT WEEDS. PFLANZENSCHUTZ PRAXIS, **4**: 13-15.
- ZWERGER, P., H.-P. MALKOMES, H. NORDMEYER, H.-P. SÖCHTING UND A. VERSCHWELE, 2004: UNKRAUTBEKÄMPFUNG – GEGENWART UND ZUKUNFT AUS DEUTSCHER SICHT. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XIX**, 27-38.
- ZWERGER, P., K. ARLT AND H. WALTER, 1996: DISTRIBUTION AND SIGNIFICANCE OF HERBICIDE RESISTANCE IN EUROPE. MITTEILUNGEN DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT **321**, 210.
- ZWERGER, P., O. RICHTER UND U. BÖTTCHER, 2002: STRATEGIEN GEGEN DIE ENTWICKLUNG VON EINFACH- UND MEHRFACH-HERBIZIDRESISTENZEN BEI UNKRÄUTERN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 383-390.





## **Amaranthus develops resistance to HPPD inhibitors in seed corn production fields - another example of lack of diversity in the weed control program**

*Amarant entwickelt Resistenz gegen HPPD-Hemmer in Saatmais Produktionsfeldern - ein weiteres Beispiel für fehlende Vielfalt in den Unkrautbekämpfungsverfahren*

Albrecht Michel<sup>1\*</sup>, Charles L. Foresman<sup>2</sup>, Nicholas D. Polge<sup>3</sup>, Shiv S. Kaundun<sup>4</sup> & Gael Le Goupil<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Syngenta Crop Protection AG, Product Biology, Schwarzwaldallee 215, 4002 Basel, Switzerland

<sup>2</sup>Syngenta Crop Protection LLC, 410 Swing Road, Greensboro, NC 27409, USA

<sup>3</sup>Syngenta Crop Protection LLC, VBRC, 7145 58th Avenue, Vero Beach, FL 32967, USA

<sup>4</sup>Syngenta Ltd., Jealotts Hill International Research Centre, Bracknell, Berkshire, RG42 6EY, UK

\*Corresponding author, albrecht.michel@syngenta.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.011

### **Summary**

In 2010, a hybrid seed corn production field was confirmed to be infested with a population of *Amaranthus tuberculatus* that was not controlled by postemergence applications of all tested commercially available HPPD-inhibitor herbicides. In glasshouse and field studies, resistance to post-emergence applications of mesotrione, tembotrione and topramezone was confirmed. In addition, this population was identified to be resistant to ALS-inhibitors and to triazines.

*A. tuberculatus* is a very competitive weed, which can appear in high population density and can emerge even very late during the season. *A. tuberculatus* is dioecious and therefore an obligate outcrosser, which is leading to high genetic variability within a population. All these biological features increase the risk of developing resistance to herbicides.

Therefore, the field history explains clearly that this resistance developed under specific conditions. In this field, inbred corn was grown for at least seven consecutive years. Inbred corn is much less competitive with weeds compared to hybrid field corn and herbicide options are reduced vs. hybrid field corn production. In addition due to the resistance to triazines, only one effective mode of action (HPPD) has been used post-emergence to control *A. tuberculatus* for over seven consecutive years. The resistance development in this *A. tuberculatus* population is clearly a result of the lack of diversity in the weed management plan which should include crop and herbicide rotation.

Field testing showed pre-emergence applications of mesotrione combinations (Lumax<sup>®</sup>, Lexar<sup>®</sup>) provided good control of this *A. tuberculatus* population. In addition alternative herbicides to control this population have been identified: Glyphosate, glufosinate, paraquat, PPGO-inhibitors, auxins, and triazinones were very effective.

**Key words:** *Amaranthus tuberculatus*, inbred corn, mesotrione, waterhemp

### **Zusammenfassung**

In 2010 wurde in McLean County, Illinois, in einem Maissaatgutproduktionsfeld eine *Amaranthus tuberculatus* Population bestätigt, die nicht mit Nachauflaufbehandlungen von HPPD-Hemmern bekämpft werden konnte. In Gewächshaus- und Feldstudien wurde die Resistenz gegen Nachauflaufbehandlungen der HPPD-Hemmer Mesotrione, Tembotrione and Topramezone gezeigt. Zusätzlich wurde eine Kreuzresistenz gegen ALS-Hemmer und gegen Triazine festgestellt.

*A. tuberculatus* ist ein sehr konkurrenzstarkes Unkraut, das in hoher Populationsdichte auftreten und sogar noch sehr spät in der Saison auflaufen kann. Es ist ein zweihäusiges Unkraut und daher ein obligater Fremdbestäuber, welches zu hoher genetischer Variabilität in der Population führt. Diese biologischen Charakteristika erhöhen das Risiko einer Resistenzentwicklung gegen Herbizide.

In dem Feld in dem die resistente Population gefunden wurde, wurde für mindestens sieben aufeinanderfolgende Jahre Hybridsaatmais aus Inzuchtlinien produziert. Inzuchtlinien sind im Vergleich zu Hybridmais sehr konkurrenzschwach gegenüber Unkräutern und zusätzlich existieren nur begrenzte Möglichkeiten der chemischen Unkrautbekämpfung. Da diese *A. tuberculatus* Population eine Resistenz gegen Triazine aufwies, war der HPPD-Hemmer für mehr als sieben aufeinander folgende Jahre der einzige effektive Wirkmechanismus in der Nachauflaufbehandlung. Die Entwicklung der Resistenz gegenüber HPPD-Hemmern ist daher eine klare Folge von einer nicht vorhandenen Diversität im Unkrautmanagement, welches ackerbauliche Massnahmen und Herbizidwechsel beinhalten sollte.

Feldversuche haben gezeigt, dass alternative Bekämpfungsmöglichkeiten dieser Population bestehen. So waren im Mais Voraufaufbehandlungen von mesotrionehaltigen Kombinationsmitteln (Lumax®, Lexar®) erfolgreich in der Bekämpfung dieser Population. Zusätzlich wurden weitere Herbizide mit guter Wirkung gegen diese Population identifiziert: Glyphosat, Glufosinat, Paraquat, PPO-Hemmer, Auxine und Triazinone waren sehr wirkungsvoll.

**Stichwörter:** *Amaranthus tuberculatus*, Herbiziresistenz, Inzuchtlinien, Mesotrione

## 1. Introduction

Herbicide resistant weeds are increasing worldwide. Among them there are three species from the *Amaranthus* family in the top ten (HEAP, 2011). In the midwestern USA Common *A. tuberculatus* (*Amaranthus tuberculatus*) has become a widespread weed.

Waterhemp (*A. tuberculatus*) is an obligate outcrosser with huge genetic variability (TRANSEL et al., 2011). Single female plants can produce up to 1 million seeds under full light conditions (STECKEL, 2007). The plant has a huge plasticity comprising small to large plants and an extended emergence pattern from spring throughout the summer month with germination even late in July resulting in plants able to produce viable seeds (HARTZLER et al., 1999). *A. tuberculatus* is a very competitive  $C_4$  plant that can grow up to 2-3 m tall (HORAK and LOUGHIN, 2000). Different populations of this weed have developed resistance to ALS, PSII, PPO inhibitors or to glyphosate.

Resistance development is often linked to and caused by an overuse of a particular herbicide or herbicide mode of action. Good examples are the development of glyphosate resistance in the US after overreliance of glyphosate applications (VAN GESSEL, 2001) and ALS resistant *Echinochloa crus-galli* in Italy after overreliance on ALS inhibitors to control grasses in corn and rice in combination with lack of crop rotation (PIGNATA et al., 2008).

Inbred corn lines are grown in seed corn production fields to produce seed for commercial hybrid corn. Inbred lines are much slower in growth and the plants do not reach the height of hybrid corn. Therefore, row closure is much slower and in some varieties never achieved throughout the season. In addition, the male flower of the mother plants is mechanically removed before flowering reducing its height and soil coverage even more and male pollinators are removed after pollination leaving an empty row without any crop.

HPPD-inhibitor herbicides are the newest available class of herbicides in corn. They act by inhibiting the enzyme 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD) leading to bleaching of susceptible plants and its subsequent death. They are widely used for pre- and post-emergence herbicide applications due to their good corn selectivity and weed control efficacy. In hybrid corn, they are mainly used in premixes or tankmixes with other modes of action, mainly from the acetanilide and triazine group that inhibit the formation of very long chain fatty acids (VLCFA) and the photosystem II (PS II) at the D1 protein, respectively. An example is Lumax, a herbicide premix consisting of a combination of the HPPD-inhibitor mesotrione, the VLCFA-inhibitor S-metolachlor (SMOC) and the PSII-inhibitor atrazine. The combinations of HPPD- and PSII-inhibitors such as atrazine have been found to have synergistic activity and can overcome PSII-inhibitor target site resistance (HUGIE et al., 2008).

In 2009, plants from a *A. tuberculatus* population were identified in a seed corn production field in McLean County, Illinois which had survived post-emergence application of HPPD-inhibitor herbicides. The site had been under a continued monoculture (min. 7 years) of seed corn production with heavy reliance on post-emergence applications of HPPD-inhibitor herbicides to control the *A. tuberculatus* population (Tab. 1). This paper describes the resistance and cross-resistance pattern of this population, discusses factors leading to its occurrence, and identifies alternative control options.

**Tab. 1** Field history at the McLean County, Illinois, location.

**Tab. 1** *Feldhistorie des Feldes in McLean County, Illinois.*

Year	Crop	Post-emergence herbicide application	Post-emergence herbicide application
2003	Seed corn production	SMOC + simazine	Mesotrione + atrazine
2004	Seed corn production	SMOC + simazine	Mesotrione + atrazine
2005	Seed corn production	SMOC + simazine	Mesotrione + atrazine
2006	Seed corn production	SMOC + simazine	Topramezone + atrazine
2007	Seed corn production	SMOC + simazine	Topramezone + atrazine
2008	Seed corn production	SMOC + simazine	Tembotrione fb mesotrione
2009	Seed corn production	SMOC + simazine	Tembotrione fb mesotrione

## 2. Materials and methods

### 2.1 Glasshouse trials

Seed heads from female plants surviving previous HPPD-herbicide applications were collected at the end of the 2009 season and dried. Seeds were manually harvested and stratified in 0.1 % agarose solution at 4 °C for 30 days as described in HAUSMAN et al. (2011). Seeds from several plants from this site were combined and referred to as: McLean County. As sensitive comparison a commercial available *A. tuberculatus* population from Azlin seeds was used and referred to as Azlin 1999.

Plants were grown from seeds in individual pots (10x10 cm) and grown under glasshouse conditions to the required height. For post-emergence treatments, plants were 7-10 cm tall and four replicates with 1-4 plants per pot were used.

Herbicide application was made using a herbicide sprayer delivering 150 l/ha fitted with 8002E TeeJet Nozzles. For all treatments, commercially available herbicides were used. Herbicidal activity was assessed at indicated times after treatment by visual assessment.

### 2.2 Field evaluations

In 2010 field trials herbicides were treated at the appropriate growth stage of *A. tuberculatus* at the McLean County field, where surviving *A. tuberculatus* plants had been collected in 2009. Crops planted were hybrid field corn or soybeans. Herbicides were applied by backpack sprayer with a TeeJet 8002 flat fan nozzle delivering 200 l/ha. All treatments were replicated three times in a complete randomized trial design. Herbicides were used as commercially available formulated products and were tested at their recommended 1x field rate, if not indicated otherwise. Herbicide activity was assessed visually at indicated timings after herbicide treatments. For post-emergence applications plants were 5-8 cm tall.

## 3. Results

### 3.1 Glasshouse trials

The glasshouse trial (Tab. 2) showed that post-emergence application of the three most widely used HPPD-inhibitors failed to control the McLean County *A. tuberculatus* population at the 1x and even 4x field rate, whereas the susceptible standard Azlin 1999 was controlled completely at the 1x rate. This clearly demonstrates the post-emergence resistance to HPPD-inhibitors in the McLean population. In fact a separate rate response experiment (data not shown) revealed a resistance factor of ~15x to post-emergence applied mesotrione at the ED<sub>75</sub> level.

**Tab. 2** Response of *A. tuberculatus* populations to post-emergence applications of different HPPD-inhibitors.**Tab. 2** Wirkung der Nachauflaufapplikation verschiedener HPPD-Hemmer auf *A. tuberculatus*-Populationen.

Herbicide	Application rate	Control Azlin 1999	Control McLean County
	(g ai/ha)	23 DAA **	23 DAA **
Mesotrione (Callisto + MSO + AMS)	105*	99 %	72 %
	210	100 %	85 %
	420	100 %	86 %
Tembotrione + isoxadifen (Laudis + MSO + AMS)	92*	100 %	75 %
	184	100 %	78 %
	368	100 %	92 %
Topramezone (Impact + MSO + AMS)	18.5*	100 %	87 %
	37	100 %	85 %
	74	100 %	96 %

\* = recommended 1x field rate; \*\* DAA = days after application; MSO = methylated seed oil; AMS = ammonium sulfate

When alternative herbicides with different modes of action were tested (Tab. 3) it became clear that the McLean County *A. tuberculatus* has a cross-resistance to the triazine (atrazine) and to the ALS-inhibitor (nicosulfuron). Also the Azlin 1999 population was found to be resistant to atrazine (confirmed in separate experiment; data not shown). The alternative herbicides fomesafen, glyphosate, glufosinate, dicamba, as well as the combination of mesotrione + atrazine provided full control of the McLean County population in post-emergence applications.

**Tab. 3** Response of *A. tuberculatus* populations to post-emergence applications of different herbicides.**Tab. 3** Wirkung der Nachauflaufapplikation verschiedener Herbizide auf *A. tuberculatus*-Populationen.

Herbicide	Application rate	Adjuvants	Control Azlin	Control McLean
	(g/ha)		1999	County
			23 DAA *	23 DAA *
Atrazine (Aatrex <sup>®</sup> )	560 (ai)	1 % v/v COC 2.5 % w/v AMS	44 %	39 %
Mesotrione + atrazine (Callisto <sup>®</sup> + Aatrex <sup>®</sup> )	105 + 560 (ai)	1 % v/v COC 2.5 % w/v AMS	100 %	100 %
Glyphosate (Touchdown Total <sup>®</sup> )	880 (ae)	2.5 % w/v AMS	98 %	100 %
Dicamba (Clarity <sup>®</sup> )	560 (ae)	0.25 % v/v NIS 2.5 % w/v AMS	100 %	100 %
Nicosulfuron (Accent <sup>®</sup> )	70 (ai)	0.25 % v/v NIS 2.5 % w/v AMS	83 %	42 %
Glufosinate (Ignite <sup>®</sup> )	450 (ai)	2.5 % w/v AMS	100 %	100 %
Fomesafen (Flexstar <sup>®</sup> )	197 (ai)	1 % v/v COC 2.5 % w/v AMS	100 %	100 %

\* DAA = days after application; ai = active ingredient; ae = acid equivalent

### 3.2 Field trial results

Out of the pre-emergence herbicide applications at the McLean County field trial the best solution for corn was a full rate of Lumax (93 % control) and for soybeans the application of Boundary<sup>®</sup> with 99 % control (Tab. 4). Half rate of Lumax<sup>®</sup> and the ALS-inhibitor containing products failed to provide good control of this population. The standard pre-emergence application by the farmer (SMOC + simazine) provided only 40 % control and was the weakest option for controlling the McLean County *A. tuberculatus* population in corn.

After post-emergence and pre-emergence followed by (fb) post-emergence herbicide applications very good control levels were achieved (tab. 5). In corn 95 % to 98 % *A. tuberculatus* control were

achieved by pre-emergence application of Bicep II Magnum<sup>®</sup> followed by Callisto<sup>®</sup> + Aatrex<sup>®</sup>, Callisto<sup>®</sup> + Status<sup>®</sup>, Touchdown Total<sup>®</sup> or Halex GT<sup>®</sup>.

In soybeans the ALS-resistance of this population was visible by the failure of Pursuit<sup>®</sup> (38 % control). The sequential applications Prefix<sup>®</sup> followed by Touchdown Total<sup>®</sup> and Boundary<sup>®</sup> followed by Flexstar GT<sup>®</sup> provided a total control (100 %) of the population and were the best treatments.

**Tab. 4** Response of *A. tuberculatus* at McLean County to pre-emergence applications of different herbicides.

**Tab. 4** Wirkung der Voraufauf Applikation verschiedener Herbizide auf *A. tuberculatus* in McLean County.

Crop	Herbicide	Application rate GPR or LPR / ha *	Application timing	Control 54 DAA **
Corn	Dual II Magnum <sup>®</sup> + Princep 4L <sup>®</sup> (SMOC + simazine)	2.5 + 2.34 LPR/ha	PRE	40 %
	Corvus <sup>®</sup> (isoxaflutole/thien-carbazone/cyprosulfamide)	0.4 LPR/ha	PRE	62 %
	Verdict <sup>®</sup> (saflufenacil/dimethenamid-p)	1.17 LPR/ha	PRE	81 %
	Lumax <sup>®</sup> half rate (mesotrione/SMOC/atrazine)	3.5 LPR/ha	PRE	62 %
	Lumax <sup>®</sup> full rate (mesotrione/SMOC/atrazine)	7 LPR/ha	PRE	93 %
Soybeans	Sharpen <sup>®</sup> (saflufenacil)	70 GPR/ha	PRE	57 %
	Pursuit DG <sup>®</sup> (imazethapyr)	98 GPR/ha	PRE	20 %
	Prefix <sup>®</sup> (fomesafen/SMOC)	2.34 LPR/ha	PRE	85 %
	Boundary <sup>®</sup> (metribuzin/SMOC)	2.34 LPR/ha	PRE	99 %

\* GPR = gram product; LPR = liter product; \*\* DAA = days after application; SMOC = s-metolachlor

**Tab. 5** Response of *A. tuberculatus* at McLean County to post-emergence applications and sequences of different herbicides.

**Tab. 5** Wirkung der Nachauf- und sequenzieller Applikation verschiedener Herbizide auf *A. tuberculatus* in McLean County.

Crop	Herbicide	Application rate GPR or LPR / ha **	Adjuvant	Application timing	Control 28 DAA *** of post-em application
Corn *	Callisto <sup>®</sup> + Aatrex <sup>®</sup> (mesotrione + atrazine)	0.22 + 1.2 LPR/ha	MSO + AMS	PRE* fb POST	95 %
	Callisto <sup>®</sup> + Status <sup>®</sup> (mesotrione + dicamba/diflufenzopyr/isoxadifen)	0.22 LPR/ha + 350 GPR/ha	MSO + AMS	PRE* fb POST	98 %
	Touchdown Total <sup>®</sup> (glyphosate)	2.34 LPR/ha	MSO + AMS	PRE* fb POST	98 %
	Halex GT <sup>®</sup> (glyphosate/mesotrione/SMOC)	4.2 LPR/ha	MSO + AMS	PRE* fb POST	98 %
Soybeans	Pursuit DG <sup>®</sup> (imazethapyr)	98 GPR/ha	MSO + AMS	POST	38 %
	Prefix <sup>®</sup> fb Touchdown Total <sup>®</sup> (fomesafen/SMOC fb glyphosate)	2.34 LPR/ha fb 1.75 LPR/ha	MSO + AMS	PRE fb POST	100 %
	Boundary <sup>®</sup> fb Flexstar GT <sup>®</sup> (metribuzin/SMOC fb glyphosate/fomesafen)	2.34 LPR/ha fb 1.17 LPR/ha	MSO + AMS	PRE fb POST	100 %

\* All treatments following a 5.6 LPR/ha Bicep II Magnum (atrazine/SMOC/benoxacor) treatment PRE; \*\* GPR = gram product; LPR = liter product; \*\*\* DAA = days after application

#### 4. Discussion

The experiments in the glasshouse and the field confirmed a resistance to post-emergent applied HPPD-inhibitors in the McLean County population of *A. tuberculatus*. The population is also cross-resistant to triazines and ALS-inhibitors. While the farmer had used a total of three herbicidal modes of action with *A. tuberculatus* activity (VLCFA, PSII and HPPD) the field studies revealed that the pre-emergence applications only provided very limited control (40 %) and that in post-emergence the HPPD-inhibitor was the main active ingredient with activity on this *A. tuberculatus* population. Therefore the only post-emergence mode of action to control the *A. tuberculatus* population was inhibition of HPPD for the last seven years. Besides being resistant to HPPD and PSII inhibitors the combination of mesotrione + atrazine still provided good control where single rates of each failed. This clearly confirms a synergistic activity of both herbicides working together.

In addition to this *A. tuberculatus* population in McLean County, IL, one more *A. tuberculatus* population has been confirmed to have developed resistance to post-emergence applied HPPD-inhibitors. This was also in a seed corn field in Iowa (MCMULLAN and GREEN, 2011). While the field history at this site is somewhat different than that at the McLean County site, the Iowa population was found to be cross-resistant to ALS- and PSII-inhibitors as well, and HPPD-inhibitors were the only active mode of action used in inbred corn. Due to the poor control *A. tuberculatus* has built up a huge seed bank in the soil and is the only weed species visible in untreated checks at very high densities.

The biggest problem seems to be the combination of *A. tuberculatus* and inbred corn lines in the seed corn production fields. While *A. tuberculatus* is highly competitive and germinates in several cohorts up to end of July the inbred corn lines provide little competition and never completely shade the ground between the rows to outcompete *A. tuberculatus*. In addition inbred corn lines are much more susceptible to herbicide damage, which could damage the plants directly, but also could affect the male and female lines flowering synchronization. Also herbicide tolerant traits may not be present in both female and male lines limiting the use of herbicides like glyphosate and glufosinate.

The resistance development to post-emergence applications of HPPD-inhibitors of this *A. tuberculatus* population is yet another example of overuse of a chemical weed control agent for one predominant weed over consecutive years of monoculture. This is similar to glyphosate overuse in cotton and soybeans, ALS-inhibitors in corn and rice to control *Echinochloa crus-galli* and ACCase- and ALS-inhibitors in cereals to control *Alopecurus myosuroides* and *Lolium* spp. (POWLES and YU, 2010).

Our studies identified alternative herbicide regimes to control the McLean County *A. tuberculatus* population in inbred corn, including full rates of pre-emergence herbicides like Lumax®. Also glyphosate, glufosinate and dicamba were very effective in controlling this population. Only they have limited tolerance in inbred corn lines and should be only used after discussion with the breeder. The best chemical solutions contained mixtures of several modes of action with activity on *A. tuberculatus*. Our studies demonstrated the importance of using the herbicides at full rates and at the recommended timing. Alternative measures to provide selectivity like shielded sprays with paraquat and post-directed applications to increase the selectivity of herbicides are part of the potential solutions.

The best option is to integrate chemical solutions with plant production efforts (NEVE et al., 2010; 2011). Rotating to soybeans and using a pre-emergence premix herbicide like Boundary® or Prefix® has shown to be very effective. If this is followed up with effective post-emergence products such as glufosinate or glyphosate containing mixtures (e.g. Flexstar GT®) these premixes along with competition of the soybean crop provided complete *A. tuberculatus* control in our field trials. Also rotating to hybrid corn would increase the options and enable the use of more herbicidal modes of action. Using robust rates without fear of crop damage and the higher competition of hybrid corn will help control late germinating *A. tuberculatus* more effectively.

## References

- HARTZLER R.G., D.D. BUHLER AND D.E. STOLTENBERG, 1999: EMERGENCE CHARACTERISTICS OF FOUR ANNUAL WEED SPECIES. *WEED SCIENCE* **47**, 578-584.
- HAUSMAN, N.E., S. SINGH, P.J. TRANEL, D.E. RIECHERS, S.S. KAUNDUN, N.D. POLGE, D.A. THOMAS AND A.G. HAGER, 2011: RESISTANCE TO HPPD-INHIBITING HERBICIDES IN A POPULATION OF WATERHEMP (*AMARANTHUS TUBERCULATUS*) FROM ILLINOIS, UNITED STATES. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **67**, 258-261.
- HEAP, I., 2011: THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. ONLINE. INTERNET. OCTOBER 12, 2011. [WWW.WEEDSCIENCE.COM](http://WWW.WEEDSCIENCE.COM).
- HORAK, M.J. AND T.M. LOUGHIN, 2000: GROWTH ANALYSIS OF FOUR *AMARANTHUS* SPECIES. *WEED SCIENCE* **48**, 347-355.
- HUGIE J.A., G.A. BOLLERO, P.J. TRANEL AND D.E. RIECHERS, 2008: DEFINING THE RATE REQUIREMENTS FOR SYNERGISM BETWEEN MESOTRIONE AND ATRAZINE IN REDROOT PIGWEED (*AMARANTHUS RETROFLEXUS*). *WEED SCIENCE* **56**, 265-270.
- McMULLAN P.M. AND J.M. GREEN, 2011: IDENTIFICATION OF A TALL WATERHEMP (*AMARANTHUS TUBERCULATUS*) POPULATION RESISTANT TO HPPD-INHIBITING HERBICIDES, ATRAZINE, AND THIFENSULFURON IN IOWA. *WEED TECHNOLOGY* **25**, 514-518.
- NEVE P., J.K. NORSWORTHY, K.L. SMITH AND I.A. ZELAYA, 2010: MODELLING EVOLUTION AND MANAGEMENT OF GLYPHOSATE RESISTANCE IN *AMARANTHUS PALMERI*. *WEED RESEARCH* **51**, 99-112.
- NEVE P., J.K. NORSWORTHY, K.L. SMITH AND I.A. ZELAYA, 2011: MODELING GLYPHOSATE RESISTANCE MANAGEMENT STRATEGIES FOR PALMER AMARANTH (*AMARANTHUS PALMERI*) IN COTTON. *WEED TECHNOLOGY* **25**, 335-343.
- PIGNATA G., L. SCARABEL AND M. SATTIN, 2008: NEW HIGHLY RESISTANT GRASSES IN SPECIFIC SUMMER CROPPING SYSTEMS AND THE VALUE OF SUSTAINABLE WEED MANAGEMENT. *PROC. 5TH INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS. VANCOUVER, CANADA, 23 - 27 JUNE 2008*, CD.
- POWLES, S.B. AND Q. YU, 2010: EVOLUTION IN ACTION: PLANTS RESISTANT TO HERBICIDES. *ANNUAL REVIEW OF PLANT BIOLOGY* **61**, 317-347.
- STECKEL L.E., 2007: THE DIOECIOUS *AMARANTHUS* spp.: HERE TO STAY. *WEED TECHNOLOGY* **21**, 567-570.
- TRANEL, P.J., C.W. RIGGINS, M.S. BELL AND A.G. HAGER, 2011: HERBICIDE RESISTANCES IN *AMARANTHUS TUBERCULATUS*: A CALL FOR NEW OPTIONS. *JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY*, **59**, 5808-5812.
- VAN GESSEL, M.J., 2001: GLYPHOSATE-RESISTANT HORSEWEED FROM DELAWARE. *WEED SCIENCE* **49**, 703-705.





## **Bedeutung und Bekämpfungsansätze verschiedener Photosystem-II-Inhibitor-Resistenzen bei *Chenopodium album* in Zuckerrüben und Kartoffeln**

*Importance and approaches for the control of different photosystem-II-inhibitor resistant *Chenopodium album* biotypes in sugar beet and potatoes*

Yvonne Agrikola & Jan Petersen\*

Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Sciences and Engineering, Berlinstraße 109, D-55411 Bingen (Rhein)

\*Korrespondierender Autor, [petersen@fh-bingen.de](mailto:petersen@fh-bingen.de)

DOI: 10.5073/jka.2012.434.012

### **Zusammenfassung**

Resistenzen gegen PS-II-Herbizide sind in dikotylen Kulturen altbekannt. Während seit Ende der 1970er Jahre vor allem Triazinresistenzen im Mais ein Problem darstellten, so gilt dies heute aufgrund der Vielzahl an alternativen Wirkstoffen in Mais als gelöstes Problem. Anders ist dies in Zuckerrüben und Kartoffeln, wo in den letzten 20 Jahren kaum neue Herbizide entwickelt worden sind. Ein bedeutendes Unkraut in allen Sommerungen ist *Chenopodium album*. Aus dem Mais sind Resistenzen gegen Triazine (Zielortresistenz (TSR) an Position 264 des D1-Proteins) bekannt. Neu ist, dass seit einigen Jahren auch neue TSR in *C. album* gefunden wurden (an Position 251 in Schweden und 218 in Niedersachsen, Deutschland). Diese Biotypen weisen Resistenzen gegen Triazinone und Chloridazon aber keine Kreuzresistenzen gegen Triazine auf. Ein Freilandgefäßversuch mit Zuckerrüben bzw. Kartoffeln und unterschiedlichen *C. album*-Biotypen zeigt, dass in Zuckerrüben ein Ethofumesatzusatz zu üblichen Herbizidkombinationen auch die triazinonresistenten Biotypen ausreichend kontrollieren kann. In Kartoffeln lassen sich diese im Voraufbau mit Acclonifen regulieren. Ein Konkurrenzversuch verschiedener *C. album*-Biotypen mit Mais zeigte keine Unterschiede im Wuchsverhalten, Biomasse und Samenproduktion zwischen unterschiedlichen resistenten und sensitiven *C. album*-Biotypen.

**Stichwörter:** Fitness, Konkurrenz, Mais, Triazinresistenz, Triazinonresistenz

### **Summary**

Resistances in weeds for PS-II herbicides are well known. Since the end of the 1970s especially resistances to triazines in maize represented a problem. Today, because of the variety of alternative active ingredients in maize, this problem is considered to be solved. This is different in sugar beet and potatoes because hardly any new herbicides have been developed during the last 20 years. *Chenopodium album* is a major weed in all summer crops. In maize, resistance to triazines (target-site resistance (TSR) at position 264 on the D1 protein) is known. In recent years, new TSR in *C. album* (position 251 in Sweden and 218 in Lower Saxony, Germany) has been found. These biotypes exhibit resistances to triazinones and chloridazon but showed no cross-resistances to triazines. An outdoor pot trial with sugar beets and potatoes showed that higher dosages of ethofumesate in sugar beets and acclonifen in potatoes are able to control triazine and triazinone resistant *C. album* biotypes to certain extend or even completely, respectively. A competition pot trial with maize and different *C. album* biotypes showed no significant differences in weed fitness concerning the parameters plant height, biomass and seed production.

**Key words:** Competition, fitness, maize, triazine resistance, triazinon resistance

### **1. Einleitung**

Eine Triazinresistenz in *Chenopodium album* wurde bereits Anfang der 1980er Jahre in Deutschland nachgewiesen (HEAP et al., 2011). Die Zielortresistenz fußt auf einer Punktmutation im D1-Protein, die an der Position 264 einen Aminosäureaustausch von Serin zu Glycin verursacht. Hatte diese Veränderung in der Vergangenheit nur eine Bedeutung in der Unkrautbekämpfung in Mais, wurden entsprechende Biotypen 2003 in belgischen Zuckerrübenanbau entdeckt (MECHANT und BULCKE, 2006). Anlässlich dieser Befunde wurden entsprechende Untersuchungen auch in anderen Regionen Europas angestoßen. Neben dem Biotyp „Ser264Gly“ wurden für *C. album* auch zwei neue Mutationen entdeckt, die eine Triazinonresistenz verursachen aber keine Kreuzresistenz gegen Triazine aufzeigen (MECHANT et al., 2008; PETERSEN und VARRELMANN, 2011). In Fruchtfolgen mit häufigem Triazinoneinsatz (insbesondere Zuckerrüben und Kartoffel) wurden diese Biotypen gefunden. Da Triazinone in beiden Kulturen wichtige Herbizide sind, stellt sich die Frage, wie diese

Biotypen in Zuckerrüben und Kartoffeln reguliert werden können. Ein Gefäßversuch mit Zuckerrüben und Kartoffeln sowie verschiedenen *C. album*-Biotypen und unterschiedlichen Herbizidstrategien wurde hierzu unter Freilandbedingungen durchgeführt.

Eine weitere wichtige Frage für die Populationsdynamik der resistenten Biotypen betrifft die Fitness der Pflanzen. Bekanntermaßen ist die Triazinresistenz mit der Mutationsstelle 264 mit einem Fitnessnachteil verbunden (GRESSEL und SEGEL, 1978). Diese Pflanzen zeigen unter anderem eine Wuchshöhendepression gegenüber dem Wildtyp von etwa 20 %. Ohne den Selektionsdruck durch den Herbizideinsatz können sich diese Biotypen schlechter durchsetzen. Die Frage ist nun, ob diese Fitnessnachteile für die neue Biotypen auch zu finden sind. Hierzu wurde ein Gefäßversuch unter Freilandbedingungen mit drei *C. album*-Biotypen aus sieben Herkünften als Konkurrenzversuch mit Mais angelegt.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Modellversuch zur Bekämpfung triazin- und triazinonresistenter *Chenopodium album*-Biotypen

Anfang April 2011 wurde ein Gefäßversuch an der FH Bingen angelegt, mit dem eine Strategie zur Bekämpfung verschiedener *C. album*-Biotypen in Zuckerrüben und Kartoffeln erarbeitet werden sollte. Dieser Versuch lief bis Anfang Juli 2011 und wurde unter Freilandbedingungen in einem durch Drahtgitter abgesicherten Außenbereich durchgeführt.

**Tab. 1** Herbizidvarianten zur Kontrolle verschiedener *C. album*-Biotypen in Zuckerrüben und Kartoffeln (angeben sind Produktaufwandmengen in l bzw. kg/ha).

**Tab. 1** *Herbicide treatments for control of different C. album biotypes in sugar beet and potatoes (product dosages in l/ha resp. kg/ha).*

Variante	Herbizid	Kultur	VA	NAK1	NAK2	NAK3
Datum			21.4.11	21.4.11	26.4.11	5.5.11
1	unbehandelt	Zuckerrübe	-	-	-	-
2	Goltix® Gold Oleo FC	Zuckerrübe		0,50	0,75 1,0	0,75 1,0
3	Goltix® Gold Oleo FC	Zuckerrübe	-	1,00	1,50 1,0	1,50 1,0
4	Goltix® Gold Kontakt 320 SC Oleo FC	Zuckerrübe	-	0,50 1,00	0,75 1,00 1,0	0,75 1,00 1,0
5	Goltix® Gold Kontakt 320 SC Oleo FC	Zuckerrübe	-	1,00 1,00	1,50 1,00 1,0	1,50 1,00 1,0
6	Goltix® Gold Kontakt 320 SC Ethosat®500 Oleo FC	Zuckerrübe	-	0,50 1,00 0,66	0,75 1,00 0,66 1,0	0,75 1,00 0,66 1,0
7	Goltix® Gold Kontakt 320 SC Ethosat®500 Oleo FC	Zuckerrübe	-	1,00 1,00 0,66	1,50 1,00 0,66 1,0	1,50 1,00 0,66 1,0
8	Mistral®	Kartoffel	0,75	-	-	-
9	Mistral® Bandur®	Kartoffel	0,75 3,00	-	-	-

Es wurden drei verschiedene *C. album*-Biotypen verwendet („Ser264Gly“, „Leu218Ser“, sensitive Herkunft). Zur Versuchsanstellung wurden 20 l Kunststoffgefäße verwendet. Die Gefäße wurde mit gedämpften und gesiebten Ackerboden (sandiger Lehm, pH-Wert 6,3; Humusgehalt ~2 %) gefüllt. Je Gefäß wurden ca. 300 *C. album*-Samen vermischt mit einer 3 cm starken Bodenschicht an der Gefäßoberfläche ausgesät. Je Gefäß wurden drei Zuckerrübensamen (Sorte „Sporta“) oder eine Kartoffel (Sorte „Marabell“) eingebracht. Der Versuch enthielt sieben Zuckerrüben- und zwei Kartoffelherbizidvarianten (Tab. 1). Die Aufstellung der Gefäße erfolgte in einer randomisierten Blockanlage mit drei Wiederholungen je *C. album*-Biotyp.

Die Herbizidapplikation erfolgte mit einer Einradparzellenspritze (Düse AI 110-025; 200 l/ha Wasser, 2,1 bar, 4,5 km/h). Die Kartoffelherbizide wurden im Voraufverfahren, die Zuckerrüben zu drei Nachaufaufterminen (NAK) behandelt. Eingesetzt wurden die Herbizide Goltix® Gold (700 g/l Metamitron), Kontakt 320SC (320 g/l Phenmedipham), Ethosat®500 (500 g/l Ethofumesat), Mistral® (700 g/kg Metribuzin) und Bandur® (600 g/l Aclonifen) sowie dem Additiv Oleo FC. Am 17.06.2011 erfolgte eine Düngung der Kübel mit 80 kg N/ha mit einem Volldünger.

Durch visuelle Bonituren der Entwicklung der Kulturen und von *C. album* nach den Herbizidapplikationen wurde die Wirkung und Verträglichkeit der Herbizidbehandlungen verfolgt. Weiterhin wurden bei der Ernte die Frischmassen der *C. album*-Biotypen und der Kulturen sowie die Samenanzahl der *C. album*-Pflanzen erfasst.

## 2.2 Versuchsansatz zur Untersuchung der Fitness verschiedener *Chenopodium album*-Biotypen

Am 7. Mai 2011 wurde ein Gefäßversuch zur Untersuchung der Fitness sowie der Populationsdynamik verschiedener *C. album*-Biotypen an der FH Bingen angelegt. Der Versuch fand unter Freilandbedingungen in einem durch ein Drahtgitter abgesicherten Außenbereich eines Gewächshauses statt. Es wurden sieben verschiedene *C. album*-Herkünfte aus Deutschland und Belgien verwendet, um die Konkurrenzstärke der verschiedenen Biotypen in verschiedenen Pflanzdichten in Mais untersuchen zu können. Es wurden jeweils zwei Herkünfte mit den Mutationen „Leu218Ser“ und „Ser264Gly“ sowie drei sensitive Herkünfte eingesetzt (Tab. 2). *C. album* wurde zunächst in Pikierschalen mit gedämpfter und gesiebter Erde vorgezogen. Im 2-Blattstadium wurden die Unkräuter kreisförmig um ein zentral abgelegtes Maiskorn in einem 20 l Gefäß in den Dichten eins, zwei, vier sowie acht Pflanzen pikiert. Als Kontrolle wurden vier Gefäße nur mit Mais mitgeführt. Der Versuch wurde mit vier Wiederholungen durchgeführt und in einer randomisierten Blockanlage aufgestellt. Zur Sicherheit wurden zwei bis drei *C. album*-Keimlinge je Gefäß zusätzlich gesetzt, um die vorgesehenen Dichten einhalten zu können. Die überzähligen Pflanzen wurden 14 Tage nach dem Pikieren entfernt. Mitte Juni wurde der Versuch mit 80 kg N/ha in Form eines Volldüngers (NPK 15x15x15) gedüngt. Bei der Versuchsernte am 25. August 2011 wurden die Frischmasse von Maiskolben und Restpflanze sowie Frischmasse, Trockenmasse und Samenanzahl je *C. album*-Pflanze ermittelt.

**Tab. 2** Eingesetzte *C. album*-Biotypen zur Ermittlung der Fitness in einem Konkurrenzversuch mit Mais.

**Tab. 2** *C. album* biotypes used for fitness assessment in a competition trial with maize.

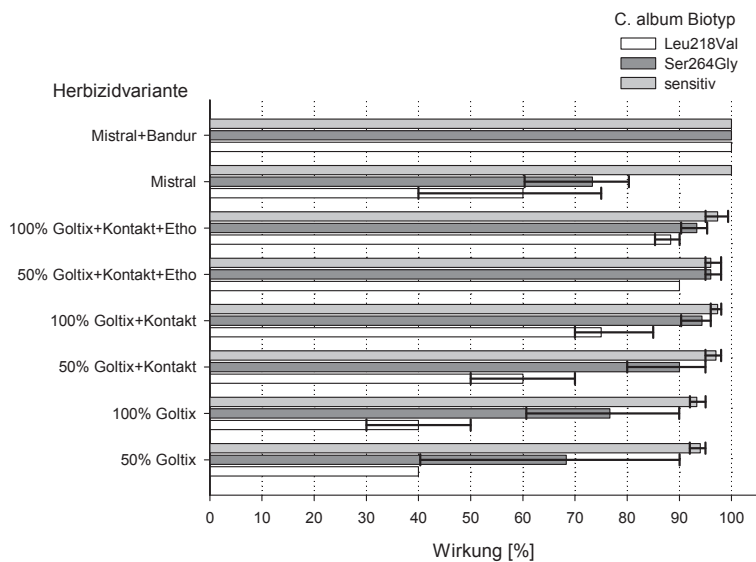
Biotyp	Bezeichnung	PS-II-Resistenz
Bröckel 1	Brö1	„Leu218Ser“
Schriek (B)	Sch	Sensitiv
Bröckel 4	Brö4	Sensitiv
Hannover	177	„Leu218Ser“
Uetze	Uet	sensitiv
Lubbeek (B)	Lub	„Ser264Gly“
Outgaarden (B)	Out	„Ser264Gly“

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Modellversuch zur Bekämpfung triazin- und triazinonresistenter *Chenopodium album*-Biotypen

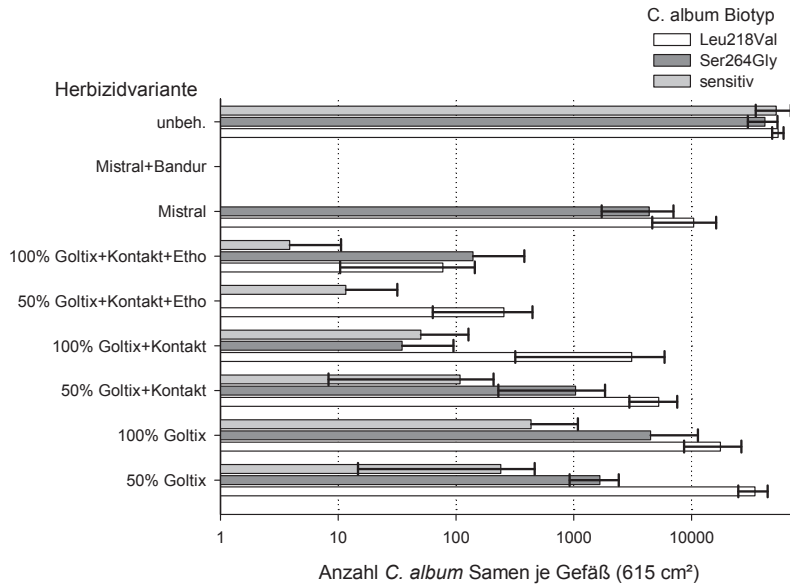
Die Bonitur der Herbizidwirkung zeigt deutliche Differenzierungen zwischen den verschiedenen Behandlungen und Interaktionen mit den *C. album*-Biotypen (Abb. 1). Während der sensitive Biotyp in Zuckerrüben bereits mit der halben Goltix® Gold Aufwandmenge gut kontrolliert wird, sind bei den beiden resistenten Biotypen Steigerungen in der Wirksamkeit mit dem Zusatz von Kontakt und Ethofumesat zu erkennen. Allerdings wird auch deutlich, dass insbesondere der triazinonresistente Biotyp bei der Dreifachmischung und hohen Aufwandmenge nur zu 90 % kontrolliert werden kann. In Kartoffeln ist die Kontrolle der triazinonresistenten Biotypen mit dem Herbizid Bandur® im Voraufbau bei entsprechenden Umweltbedingungen möglich. Während es beim Einsatz der Kartoffelherbizide keine erkennbaren Schäden an der Kultur gab, so zeigte der dreimalige Einsatz von Ethofumesat in Kombination mit den beiden anderen Herbiziden deutliche Schäden in Form von Blattverklebungen der Zuckerrüben mit entsprechend nachhaltigen Wuchsdepressionen.

Die Invasionskraft eines Biotypes kann neben der Größe des Habitus, also der direkten Konkurrenzkraft, auch über die Ausbildung von fertilen Samen dargestellt werden (Abb. 2). Mit dieser Darstellung wird deutlich, dass in der unbehandelten Variante alle drei Biotypen eine ähnliche Anzahl Samen (ca. 50.000 je 615 cm<sup>2</sup> Gefäßoberfläche) ausbildeten. Der Biotyp mit der Mutation „Leu218Ser“ bildete, trotz Behandlungen mit Goltix® Gold in voller, sowie halbiertes Aufwandmenge bzw. Mistral® eine höhere Anzahl Samen, im Vergleich zu beiden anderen Biotypen. Zwischen den behandelten Varianten konnten beim sensitiven Biotyp keine Unterschiede festgestellt werden. Analog zu den Herbizidwirkungen (Abb. 1), verringerte sich die Anzahl gebildeter Samen pro Pflanze, je mehr Wirkstoffe im Einsatz waren, wobei die Anzahl gebildeter Samen sehr starken Schwankungen unterlag. Bei Einsatz von Metribuzin konnte die Anzahl Samen im Vergleich zur Kontrolle, pro Pflanze beim Biotyp mit der Mutation „Leu218Ser“ um ca. 20 % und um ca. 10 % bei der Mutation „Ser264Gly“ reduziert werden. Durch den Einsatz der Kombination aus Mistral® und Bandur® konnten alle Biotypen erfolgreich bekämpft werden. Eine Samenbildung wurde vollständig verhindert.



**Abb. 1** Wirkung verschiedener Herbizidvarianten in Zuckerrüben bzw. Kartoffeln in Abhängigkeit des *C. album*-Biotyps (Bonitur am 14. Juni 2011); Fehlerbalken zeigen Minimum- und Maximumwerte.

**Fig. 1** Efficacy of different herbicide treatments in sugar beet and potatoes depending on *C. album* biotype; error bars indicate minimum and maximum values.



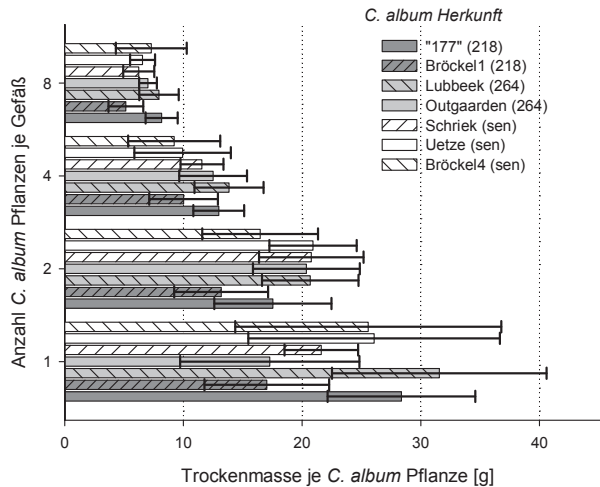
**Abb. 2** Auswirkungen verschiedener Herbizidvarianten in Zuckerrüben bzw. Kartoffeln auf die Bildung fertiger Samen in Abhängigkeit des *C. album*-Biotyps (4. Juli 2011); Fehlerbalken zeigen Standardabweichung.

**Fig. 2** Efficacy of different herbicide treatments in sugar beet and potatoes on fertile weed seed production depending on *C. album* biotype; error bars indicate standard deviation.

### 3.2 Versuchsansatz zur Untersuchung der Fitness verschiedener *Chenopodium album*-Biotypen

Die Darstellung der Konkurrenzkraft der drei hier geprüften Genotypen und sieben Herkünfte zeigt, dass die abnehmende Trockenmasse je Pflanze bei steigender *C. album*-Dichte je Gefäß zu erkennen war (Abb. 3). Bei einigen Dichten bzw. Herkünften konnten unterschiedliche Trockenmassen festgestellt werden. Einen Zusammenhang mit dem Genotyp gab es jedoch nicht. Generell konnte kein Fitnessnachteil, der sich auf die *C. album*-Trockenmasse auswirkt, bei den PS-II-Inhibitor resistenten Biotypen gegenüber den sensitiven Biotypen festgestellt werden.

Die letztendliche Auswirkung der getesteten *C. album*-Biotypen in den verschiedenen Dichten auf den Maiskolbenertrag korrespondierte mit den in Abbildung 3 dargestellten Trockenmassen von *C. album*. Bei zunehmender *C. album*-Dichte je Gefäß nahm Masse der Maiskolben deutlich ab (Ergebnisse nicht dargestellt). Es konnte kein Unterschied im Einfluss der verschiedenen Biotypen auf den Kolbenertrag nachgewiesen werden. Der Einfluss von *C. album* auf den Maisertrag des gesamten Sprosses war weitestgehend deckungsgleich mit den Ergebnissen des Kolbenertrags.



**Abb. 3** Trockenmasse von verschiedenen *C. album*-Biotypen in unterschiedlichen Dichten in einem Konkurrenzgefäßversuch mit Mais; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung.

**Fig. 3** Dry mass of *C. album*-biotypes in different densities in a competition pot trial with maize; error bars indicate standard deviation.

#### 4. Diskussion

##### 4.1 Modellversuch zur Bekämpfung triazinresistenter *Chenopodium album*-Biotypen

Durch den Vergleich der Ernteergebnisse der Sprossfrischmassen der *C. album*-Biotypen und der Zuckerrüben konnte sicher festgehalten werden, dass eine Herbizidapplikation in jedem Fall eine Verbesserung der Wachstumssituation für die Rüben ergab. Dies entsprach den Ergebnissen von BRÄUTIGAM (1998) und WELLMANN (1999). Es konnte mit einer optimierten Herbizidmischung mit dem Zusatz Ethofumesat die Effizienz der *C. album*-Bekämpfung gesteigert werden und somit die theoretische Verbreitung der resistenten Biotypen gemäß den Überlegungen von WRUBEL und GRESSEL (1994) sowie CURRAN (1999) unterbunden werden.

Die hohen Wirkungsgrade der Herbizidmischungen mit Goltix® Gold, Kontakt 320 SC sowie Ethosat® 500 konnten auf die Mischung verschiedener Herbizidklassen und die einhergehenden, unterschiedlichen Angriffspunkte der Wirkstoffe in der Pflanze zurückgeführt werden. Die Herbizide Goltix® Gold und Kontakt 320 SC hemmen das Photosystem II, Ethosat® 500 inhibiert dagegen die Fettsynthese der Pflanzen, welche durch die PS-II-Inhibitorresistenz nicht tangiert ist (MECHANT und BULCKE, 2006; MECHANT et al., 2008; PETERSEN und VARRELMANN, 2011). Auch der Einsatz von Metamitron und Phenmedipham in einer Mischung erbrachte wegen der Sensitivität der Biotypen gegen Phenylcarbamate gute Erfolge, wengleich die Wirkung im Vergleich zur Mischung der drei Herbizide etwas geringer war. Dies lässt sich damit erklären, dass bei einer Mischung von Metamitron und Phenmedipham zwei Wirkstoffe kombiniert werden, die beide auf das Photosystem II einwirken, bei der „Dreier-Mischung“ hingegen auch die Fettsynthese gehemmt wurde. Der größere Bekämpfungserfolg des „Ser264Gly“-Biotyps im Vergleich zum „Leu218Ser“-Biotyp in den reinen Goltix® Gold Varianten lässt auf eine stärker ausgeprägte Resistenz des Biotyps 218 gegenüber Triazinone schließen, was die Behandlungsergebnisse der beiden Biotypen mit Metribuzin bestätigte. Die Untersuchungen von PETERSEN und VARRELMANN (2011) sowie WILSKI et al. (2006) bestätigten die Resistenz des Biotyps 218 gegen Metamitron und Metribuzin. Die bei PETERSEN und VARRELMANN (2011) untersuchten Pflanzenproben stammten aus einer Zuckerrüben/Kartoffel-Fruchtfolge, wobei vor allem Triazinone eingesetzt wurden und keine Triazine. Die häufige Behandlung dieser Flächen mit Triazinonen könnte die Ursache für einen hohen Resistenzgrad des Biotyps „Leu218Ser“ gegen Metamitron und Metribuzin sein.

Die Schäden an den Zuckerrüben in den Herbizidvarianten mit der Ethofumesatmenge von in der Summe von 1000 g/ha führte unter den Testbedingungen zu nachhaltigen Schäden an den Zuckerrüben. Die Ursachen für diese überraschend deutlichen Kulturschäden blieben unklar. Feldversuche sollten klären, ob die Erhöhung der Ethofumesatmenge in gängigen Herbizidmischungen eine kulturpflanzenverträgliche Strategie zur Kontrolle von triazinonresistenten *C. album*-Biotypen sein kann.

Der Behandlungserfolg mit der Mischung aus Metribuzin und Aclonifen in Kartoffeln deckte sich mit den Ergebnissen von MECHANT und BULCKE (2006), die zwar für den Biotyp mit der Mutation „Ser264Gly“ eine Kreuzresistenz zu Metribuzin, nicht jedoch für Aclonifen beschrieben. Die beschriebene Kreuzresistenz zu Metribuzin bei den *C. album*-Biotypen mit der Mutation „Ser264Gly“ wurde durch die vorliegende Untersuchung bestätigt. Weiterhin könnte auch mit der Anwendung von Metribuzin die erhöhte Resistenz gegen Triazinone für den Biotyp „Leu218Ser“ bestätigt werden, da der Behandlungserfolg geringer war, als bei der sensitiven und resistenten Herkunft aus Outgaarden (264). Daher resultierte auch die bessere Wirkung der Wirkstoffmischung aus Metribuzin und Aclonifen des Biotyps aus Bröckel im Vergleich zur Herkunft aus Outgaarden. Der sensitive Biotyp konnte mit beiden Wirkstoffvarianten erfolgreich bekämpft werden und würde keinen Einsatz des Wirkstoffs Aclonifen erfordern. Es wäre jedoch bei Bestätigung eines resistenten Biotyps auf einem Feld zu empfehlen, die Kombination aus Metribuzin und Aclonifen anzuwenden, um die resistenten *C. album*-Biotypen sicher und effektiv bekämpfen zu können und somit die Ausbreitung auf weitere Felder zu vermeiden.

#### **4.2 Versuchsansatz zur Untersuchung der Fitness verschiedener *Chenopodium album*-Biotypen**

Aufgrund des sehr heterogenen Aufwuchses von *C. album* ist es durch diesen Versuch nicht gelungen, die von McCLOSKEY und HOLT (1990) beschriebene geringere Konkurrenzkraft von Pflanzen mit der Mutation „Ser264Gly“ nachzuweisen. Weiterhin konnte nicht ermittelt werden, welche Konkurrenzkraft *C. album*-Individuen mit der target-site Mutation „Leu218Ser“ im Vergleich zu sensitiven Biotypen besitzen. Da keine Unterschiede im Aufwuchs der getesteten Biotypen festzustellen waren, die mit den Resistenzen korrelierte, konnten auch keine Unterschiede in der Konkurrenzkraft der getesteten Herkünfte nachgewiesen werden.

#### **Danksagung**

Die Autoren bedanken sich bei Mark Varrelmann (IfZ Göttingen), Els Mechant (Universität Ghent) und Antje Kalfa (FCS Köln) für die Bereitstellung der *C. album* Samen und die gewährte technische Unterstützung.

#### **Literatur**

- BRÄUTIGAM, H., 1998: UNTERSUCHUNGEN ZUR KONKURRENZ ZWISCHEN UNKRAUT UND ZUCKERRÜBEN (DISS.); CUVILLIER VERLAG, GÖTTINGEN.
- CURRAN, W. S., 1999: MANAGEMENT OF TRIAZINE-RESISTENT PIGWEED AND LAMBSQUARTERS – AN INTEGRATED APPROACH. IN: AGRONOMY FACTS **10**; COLLEGE OF AGRICULTURAL SCIENCES – COOPERATIVE EXTENSION, PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY, ONLINE UNTER: [HTTP://CROPSOIL.PSU.EDU/EXTENSION/FACTS](http://cropsoil.psu.edu/extension/facts); 14.08.2011, 16:19 UHR.
- GRESSEL, J. UND L. A. SEGEL, 1978: THE PAUCITY OF PLANTS EVOLVING GENETIC RESISTANCE TO HERBICIDES: POSSIBLE REASONS AND IMPLICATIONS. JOURNAL OF THEORETICAL BIOLOGY **75**, 349-371.
- HEAP, I., H. GLICK, L. GLASGOW UND W. VENCILL, 2011: TABLE: HERBICIDE RESISTANT LAMBSQUARTERS GLOBALLY - *CHENOPODIUM ALBUM*; [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG/SUMMARY/USPECIESCOUNTRY.ASP?LSTWEEDID=47&FMSPECIES=GO](http://www.weedscience.org/summary/uspeciescountry.asp?lstweedid=47&fmSpecies=Go); 04.10.2011, 10:43 UHR.
- MC CLOSKEY, W. B. UND J. S. HOLT, 1990: TRIAZINE RESISTANCE IN *SENECIO VULGARIS* PARENTAL AND NEARLY ISONUCLEAR BACKCROSSED BIOTYPES IS CORRELATED WITH REDUCED PRODUCTIVITY. PLANT PHYSIOLOGY **92**, 954 – 962.
- MECHANT, E. UND R. BULCKE, 2006: CROSS-RESISTANCE OF METAMITRON-RESISTANT *CHENOPODIUM-ALBUM* L. BIOTYPES FROM SUGAR BEET. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 147 – 153.
- MECHANT, E., T. DE MAREZ, O. HERMANN, R. OLSSON UND R. BULCKE, 2008: TARGET SITE RESISTANCE TO METAMITRON IN *CHENOPODIUM ALBUM* L. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 37 – 40.

- PETERSEN, J. UND M. VARRELMANN, 2011: A NEW *CHENOPODIUM ALBUM* BIOTYPE WITH RESISTANCE TO METRIBUZIN AND METAMITRON. IN: PETERSEN, J. UND M. SCHULTE, 2011: REPORT ON THE ANNUAL MEETING OF THE WORKING GROUP „HERBOLOGY“; JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **118**, 86 – 89.
- WELLMANN, A., 1999: KONKURRENZBEZIEHUNGEN UND SCHADENSPROGNOSEN IN ZUCKERRÜBEN BEI VARIERTEM ZEITLICHEN AUFTRETEN VON *CHENOPODIUM ALBUM* L. UND *CHAMOMILLA RECUTITA* (L.) RAUSCHERT (DISS.); CUVILLIER VERLAG, GÖTTINGEN.
- WILSKI, S., U. JOHANNINGMEIER, S. HERTEL UND W. OETTMEIER, 2006: HERBICIDE BINDING IN VARIOUS MUTANTS OF THE PHOTOSYSTEM II D1 PROTEIN OF *CLAMYDOMONAS REINHARDTII*. PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY **84**, 157 – 164.
- WRUBEL, R. P. UND J. GRESSEL, 1994: ARE HERBICIDE MIXTURES USEFUL FOR DELAYING THE RAPID EVOLUTION OF RESISTANCE? A CASE STUDY. WEED TECHNOLOGY **8**, 635 – 648.



## **A discrete evolutionary genetic model for the emergence of metabolic resistance**

*Ein zeitdiskretes genetisches Modell für die Entwicklung metabolischer Resistenz*

Otto Richter<sup>1\*</sup>, Dirk Langemann<sup>2</sup> & Janin Rummland<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Braunschweig, Institute of Geoeecology, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig, Germany

<sup>2</sup>Technische Universität Braunschweig, Institute for Computational Mathematics, Pockelsstr. 14, 38106 Braunschweig, Germany

\*Corresponding author, o.richter@tu-bs.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.013

### **Summary**

Metabolic resistance refers to the biochemical processes within the plant that degrade herbicides to less toxic compounds, resulting in a shift of the dose-response curve. A multi allelic fitness model is used to simulate the emergence of metabolic resistance. A diploid population with a single resistance locus is considered with  $K$  number of alleles. The joint evolutionary dynamics model as described by HUILLET and MARTINEZ (2011) is applied to the dynamics of metabolic resistance. This is achieved by relating the fitness parameters to the form of the dose response curve which is characterized by a steepness and a threshold parameter ( $ED_{50}$  value). It is assumed that the threshold parameter of individuals in a population is log-normally distributed as the result of normal genetic variation. This means that there are only very few individuals with a high degree of metabolic resistance (high threshold parameter) in a weed population if no herbicides are applied. Under the long term application of only herbicide with one mode of action, the model produces the gradual shift of the mean dose response curve of the model weed population as frequently observed in the field. The model is used to understand the dynamics of the development of metabolic resistance under field conditions.

**Key words:** Evolution, genetic model, metabolic resistance, multi-allelic fitness model

### **Zusammenfassung**

Metabolische Resistenz ist die Fähigkeit eines Organismus, toxische Substanzen abzubauen, was zu einer Verschiebung von Dosis-Wirkungskurven ( $ED_{50}$ -Werte) führt. Ein generelles genetisches Modell (HUILLET und MARTINEZ, 2011) für eine diploide Population mit einem einzelnen Resistenz-Lokus und  $K$  Allelen wurde auf das Auftreten von metabolischer Resistenz angewendet. Dazu wurden die Fitnesskoeffizienten mit einer Dosiswirkungskurve verknüpft. Die Form der Kurve ist durch einen Schwellenwert ( $ED_{50}$ -Wert) und einen Formparameter für die Steigung bestimmt. Jedes Allel  $A_i$  trägt zur Expression von einem bestimmten Schwellenwert innerhalb des Individuums bei. Es wird angenommen, dass der Schwellenwert in einer unbehandelten Population logarithmisch normalverteilt ist, d.h. die Frequenz von Individuen mit hohen  $ED_{50}$ -Werten ist äußerst gering. Das Modell liefert die Verschiebung der Dosiswirkungskurve einer Population unter der kontinuierlichen Anwendung von Herbiziden mit dem gleichen Wirkungsmechanismus und wird dazu verwendet, Managementverfahren zur Verzögerung des Auftretens der metabolischen Resistenz zu bewerten.

**Stichwörter:** Evolution, genetisches Modell, metabolische Resistenz, Resistenzmanagement

### **1. Introduction**

Herbicide resistance has become a major issue for many weeds (BECKIE, 2006). There are two major groups of resistance mechanisms:

- Alteration of the herbicide site of action (target site resistance).
- Non-target site resistance comprising e.g. enhanced metabolism, sequestration and restricted translocation.

Metabolic resistance can be characterized by enzymatic degradation of pesticides within the target organism (PETIT et al., 2010) resulting in a gradual shift of the dose response curve (TAL et al., 2000; DALY & FISK, 1992). In the case of target site resistance, there are many models in the literature describing the population dynamics and genetics of sensitive and resistant biotypes (MAXWELL et al., 1990; RICHTER et al., 2002). However, there are few models for the gradual shift of dose response curves in the case of metabolic resistance. Recently, RENTON et al. (2011) published a stochastic

individual-based simulation model for polygenic metabolic resistance. It is the purpose of this paper, to present a time discrete mathematical model in a closed form relating parameters of dose response relationships to fitness coefficients in a general framework. We present here the first (monogenic) version of the model.

## 2. Materials and methods

### 2.1 General model framework

In the first model version, it is assumed that metabolic resistance is coded at a single locus. Although metabolic resistance has been found to be polygenic in recent publications (MANALIL et al., 2011), monogenic inheritance may also occur as is the case for instance in glyphosate resistance due to restricted translocation in *Lolium* spp. (POWLES et al., 2010).

The phenotypic expression is characterized by a dose response relationship which is defined by only few parameters, e. g. the ED<sub>50</sub> value (cf. section 2.2). We consider a diploid population with K (K arbitrary large) alleles. The general theoretical frame follows the paper of Huillet and Martinez (2011).

Let  $x = [x_1, x_2, \dots, x_K]$  denote the frequency distribution of alleles  $A_1, \dots, A_K$  within a population with  $\sum_{i=1}^K x_i = 1$  and  $X$  the symmetric frequency matrix ( $x_{ij} = x_{ji}$ ) of genotypes  $A_i A_k$ .

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1K} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{K1} & x_{K2} & \dots & x_{KK} \end{pmatrix}$$

In case of a diploid population with  $K$  alleles, the fitness coefficients are presented by the symmetric fitness matrix

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1K} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{K1} & w_{K2} & \dots & w_{KK} \end{pmatrix}$$

The fitness coefficients are expressed by dose response relationships. The evolutionary dynamics are acting on the parameters of these curves when herbicides are applied. In this model version, only the parameter ED<sub>50</sub> is taken into account. The time discrete evolutionary dynamics is given by

$$X_{t+1} = \frac{1}{\omega(X_t)} X_t \circ W$$

where the mean fitness of the population is given by

$$\omega(X) = \sum \sum x_{kl} w_{kl}$$

The symbol  $\circ$  denotes the Hadamard product of the matrices  $X$  and  $W$ .

The genetic variance is given by

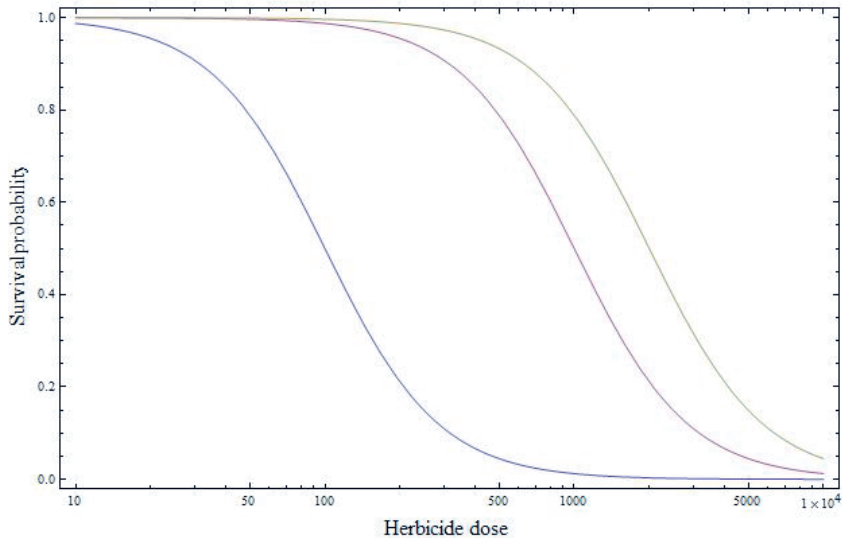
$$\sigma^2 = \sum \sum x_{kl} (\omega(X) - w_{kl})^2$$

## 2.2 Dose response relationships

Dose response curves are described by the log-logistic model (KNEZEVIC et al., 2007)

$$S(d) = \frac{1}{1 + \exp[b(\log(d) - \log(e))]}$$

The parameter  $d$  denotes the dose,  $b$  determines the steepness of the curve and  $e$  is the  $ED_{50}$  value, i.e.  $S(e)=0.5$ . Figure 1 shows dose response curves for different values of  $e$ .



**Fig. 1** Dose response curves for three  $ED_{50}$  values.

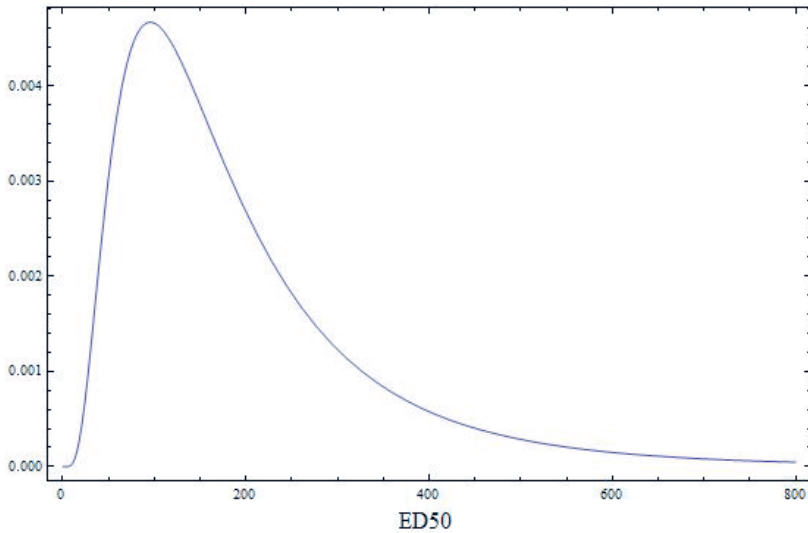
**Abb. 1** Dosis-Wirkungskurven für drei  $ED_{50}$ -Werte.

The population dose response curve is given by the weighted superposition of dose response curves of each genotype  $A_i, A_k$ .

$$S(d)_{pop} = \sum \sum x_{kl} w_{kl}(d)$$

## 2.3 Distribution of initial gene frequencies

It is assumed that the parameter  $e$  ( $ED_{50}$  value) is log-normally distributed within a diploid population with  $K$  alleles, i.e. individuals with high  $ED_{50}$  values are extremely rare.

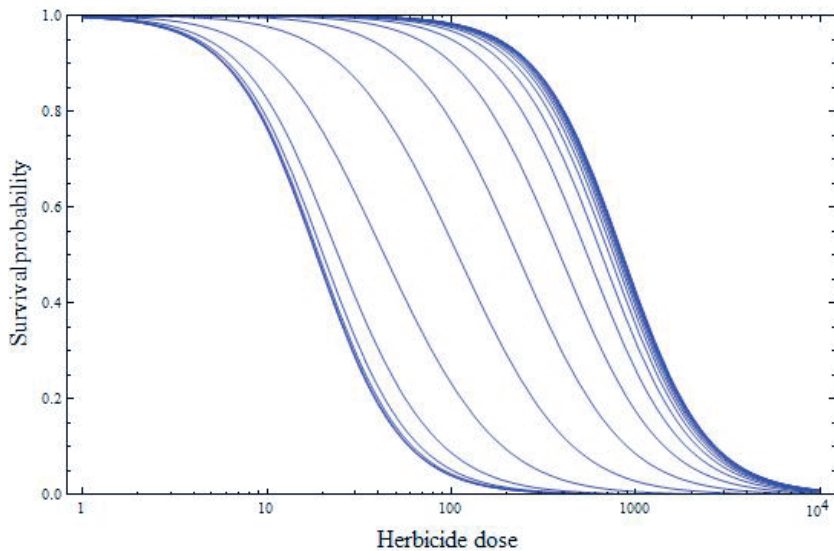


**Fig. 2** Log-normal distribution of  $ED_{50}$  values within a population.

**Abb. 2** Log-normale Verteilung von  $ED_{50}$ -Werten in einer Population.

### 3. Results

The model is capable of simulating the shift of dose response curves under the application of herbicides with the same mode of action. Fig. 3 shows the development in time of doses response curves under a constant herbicide dose.

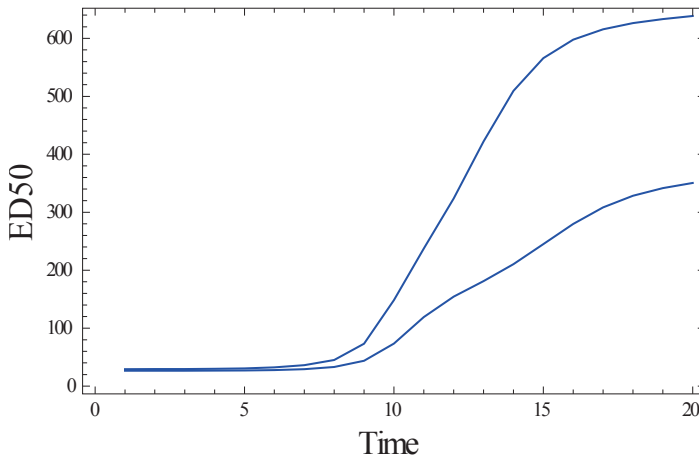


**Fig. 3** Shift of the population dose response curve (from left do right) under a repeated application of herbicides with the same mode of action.

**Abb. 3** Verschiebung der Dosis-Wirkungskurve unter wiederholter Anwendung von Herbiziden mit gleichen

### 3.1 Wirkungsmechanismen.

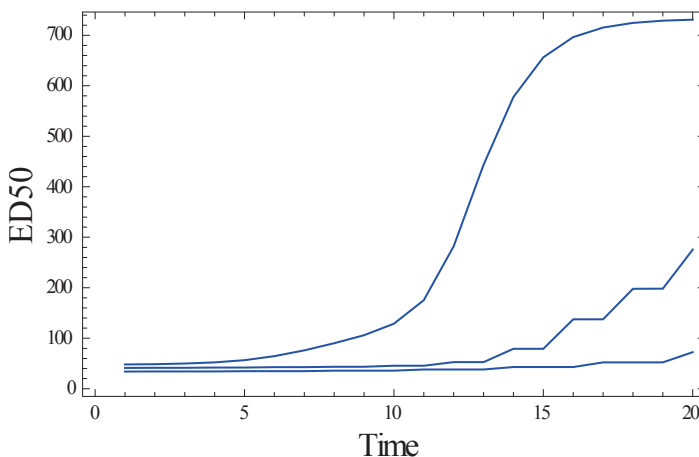
If metabolic resistance is dominant, i.e.  $w_{ik} = \max(w_{ii}, w_{kk})$ , the shift of the dose response curve is much faster than in the recessive case, i.e.  $w_{ik} = \min(w_{ii}, w_{kk})$ , as is shown in Fig. 4.



**Fig. 4** Temporal development of the population  $ED_{50}$  value if the alleles coding metabolic resistance are dominant (upper curve) or recessive (lower curve).

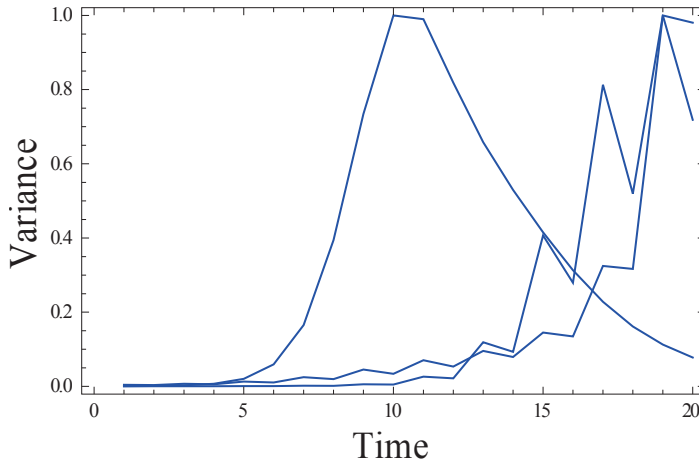
**Abb. 4** Zeitliche Entwicklung des  $ED_{50}$ -Wertes für den Fall dominanter Vererbung (obere Kurve) und rezessiver Vererbung (untere Kurve) der metabolischen Resistenz.

Fig. 5 shows the development of the  $ED_{50}$  value under four treatment schemes (application of herbicides with the same mode of action each year, every second year, every third year, no application in between).



**Fig. 5** Shift of  $ED_{50}$  values under three different treatment schemes. Upper curve: application of herbicides with the same mode of action each year, middle curve: application every second year, lower curve: application every third year.

**Abb.5** Retardierung der metabolischen Resistenz durch Aussetzen der Herbizidbehandlung. Obere Kurve: Anwendung von Herbiziden mit gleichen Wirkungsmechanismen jedes Jahr, mittlere Kurve: Anwendung jedes 2. Jahr, untere Kurve: Anwendung jedes dritte Jahr.



**Fig. 6** Development in time of the genetic variance under the same treatment schemes as shown in Figure 5.

**Fig. 6** Zeitliche Entwicklung der genetischen Varianz unter den in Abb. 5 dargestellten Behandlungen.

#### 4. Discussion

The model addresses the emergence of metabolic resistance at a highly aggregated level. Model results show that the frequency of application determines the velocity of the development of metabolic resistance, i.e. the shifting of  $ED_{50}$  values, within a population. For practical applications, the model has to be integrated into a detailed life cycle model of the weed species including competition with the crop and dependence of model parameters on soil properties and climatic factors. In a further version, polygenic inheritance will be accounted for. By imbedding this extended model into a cellular automaton, it is possible to capture the spatial spread of resistant biotypes either by transport of pollen and seeds via the air or via tillage operation and other agricultural techniques.

#### Acknowledgements

The authors wish to thank our partners of BAYER Crop Science for financial support and many fruitful discussions.

#### References

- BECKIE, H.J., 2006: HERBICIDE-RESISTANT WEEDS: MANAGEMENT TACTICS AND PRACTICES. *WEED TECHNOLOGY* **20**, 793-814.
- DALY, J.C. AND J.H. FISK, 1992: INHERITANCE OF METABOLIC RESISTANCE TO THE SYNTHETIC PYRETHROIDS IN AUSTRALIAN *HELICOVERPA ARMIGERA*. *BULLETIN OF ENTOMOLOGICAL RESEARCH* **82**, 5-12.
- HUILLET, T. AND S. MARTINEZ, 2011: DISCRETE EVOLUTIONARY GENETICS: MULTIPLICATIVE FITNESS AND MUTATION-FITNESS BALANCE. *APPLIED MATHEMATICS* **2**, 11-22.
- KNEZEVIC, S.Z., J. STREIBIG AND C. RITZ, 2007: UTILIZING R SOFTWARE PACKAGE FOR DOSE-RESPONSE STUDIES: THE CONCEPT AND DATA ANALYSIS. *WEED TECHNOLOGY* **21**, 840-848.
- MANALIL, S., R. BUSI, M. RENTON AND S.B. POWELS, 2011: RAPID EVOLUTION OF HERBICIDE RESISTANCE BY LOW HERBICIDE DOSAGES. *WEED SCIENCE* **59**, 210-217.
- MAXWELL, B., M.L. ROUSH AND S.R. RADOSEVICH, 1990: PREDICTING THE EVOLUTION AND DYNAMICS OF HERBICIDE RESISTANCE IN WEED POPULATIONS. *WEED TECHNOLOGY* **4**, 2-13.
- PETIT, C., B. DUHIEU, K. BOUCANSAUD AND C. DELYE, 2010: COMPLEX GENETIC CONTROL OF NON-TARGET-SITE-BASED RESISTANCE TO HERBICIDES INHIBITING ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE AND ACETOLACTATE-SYNTASE IN *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. *PLANT SCIENCE* **178**, 501-509.
- POWELS, S. AND Y. Q., 2010: EVOLUTION IN ACTION: PLANTS RESISTANT TO HERBICIDES. *ANNUAL REVIEW OF PLANT BIOLOGY* **61**, 317-349.

- RENTON, M., A. DIGGLE, S. MANANLI AND S. POWELS, 2011: DOES CUTTING HERBICIDE THREATEN THE SUSTAINABILITY OF WEED MANAGEMENT IN CROPPING SYSTEMS? JOURNAL OF THEORETICAL BIOLOGY **283**, 14-27.
- RICHTER, O., P. ZWERGER AND U. BÖTTCHER, 2002: MODELLING SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF HERBICIDE RESISTANCE. WEED RESEARCH **42**, 52-64.
- TAL, A., E. KOTOULA-STYKA AND B. RUBIN, 2000: SEED-BIOASSAY TO DETECT GRASS WEEDS RESISTANT TO ACETYL COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITING HERBICIDES. CROP PROTECTION **19**, 467-472.





## Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* Huds. in Bayern

*Herbicide resistance of Alopecurus myosuroides Huds. in Bavaria*

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.2012.434.014

### Zusammenfassung

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

Der bayerische Pflanzenschutzdienst verfügt über langjährige Erfahrungen zur Resistenzentwicklung bei Ackerfuchsschwanz. Die Auswertung von Verdachtsuntersuchungen und Monitoringerhebungen beschreibt die Resistenzentwicklung von Ackerfuchsschwanz in Bayern. Neben der Auswertung von Resistenzuntersuchungen wird die Resistenzentwicklung in den Bezug zur Veränderung von ackerbaulichen Rahmenbedingungen, zu betriebsspezifischen Standortfaktoren und zu produktionstechnischen Besonderheiten gestellt.

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

**Stichwörter:** Ackerfuchsschwanz, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

### Summary

Black-grass (*Alopecurus myosuroides*) is one of the most important grass weeds in Bavaria. Chemical weed control with high efficacy is very important in different crops. Crop rotations with more winter cereals, reduced soil cultivation and e.g. harvesting by private contractors caused a higher distribution of black-grass in arable farming regions. Evolution of herbicide resistance was observed during the last 20 years. Black-grass herbicide resistance is well monitored by the official plant protection service of Bavaria. A wide range of resistance tests show the development of resistant black-grass and provide an opportunity for future prospects in resistance dynamics.

**Keywords:** Black-grass, grass weed control, herbicide resistance management

### 1. Einleitung

Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) bestimmt in vielen Ackerbauregionen Bayerns als wesentliches Leitunggras das Herbizidbehandlungskonzept im Wintergetreideanbau. Die Notwendigkeit für eine Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz erhöht hierbei den Kostenaufwand der Herbizidbehandlung deutlich. Seit etwa 10 bis 15 Jahren haben sich die Regionen mit Ackerfuchsschwanz als dominierendes Leitunggras stark ausgedehnt. Es werden zudem vermehrt Insellagen mit Ackerfuchsschwanzbefall festgestellt, die sich schnell zu einem kleinräumigen Befallsgebiet entwickeln. Ackerfuchsschwanz erreicht im Wintergetreideanbau regelmäßig bekämpfungsnotwendige Besatzdichten. Ein Ertragsschädigungspotenzial von durchschnittlich -20 bis -30 % erfordert eine effektive Herbizidbehandlung. Seit etwa 1990 wurden in der Anbaupraxis zunehmende Minderwirkungen bei Behandlungen auf der Basis von Isoproturon (IPU) beobachtet. Der Verdacht auf Herbizidresistenz als Ursache für die abnehmende Bekämpfungsleistung von IPU-Anwendungen konnte allerdings durch erste Resistenzuntersuchungen vom Bayerischen Pflanzenschutzdienst nur in Einzelfällen bestätigt werden. Bei dem seit Mitte der 1990er Jahre zunehmend in der Ackerfuchsschwanz-Bekämpfung verwendeten Herbizid Fenoxaprop-P konnte dagegen in vielen Fällen ein Resistenzverdacht bestätigt werden. Seit 2004 werden vom

Pflanzenschutzdienst systematische Resistenzuntersuchungen gegenüber wichtigen Herbiziden durchgeführt, die die Dynamik der Herbizidresistenz bei Ackerfuchsschwanz eindrucksvoll belegen. Die Untersuchungsergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

## 2. Material und Methoden

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

Die Applikation erfolgte je nach zu prüfenden Herbizid unmittelbar nach der Einsaat und Befeuchtung im Voraufverfahren (BBCH 00) bzw. nach einer Anzuchtperiode von ca. 10-14 Tagen im Entwicklungsstadium BBCH 10-12. Hierfür wurde eine linearangetriebene Laborspritzbahn (Fab. Schachtner) verwendet. Die Applikationskabine war mit Flachstrahldüsen vom Typ TeeJet<sup>®</sup> 8001EVS ausgestattet. Bei einem Spritzdruck von 2,5 bar und einer Geschwindigkeit von 2,0 km/h betrug die Wasseraufwandmenge 200 l/ha. Bei den durchgeführten Dosis-Wirkungsversuchen wurde mit zwei bis drei Konzentrationsstufen der eingesetzten Herbizide gearbeitet. Dabei entsprach eine der geprüften Konzentrationen der zugelassenen Standarddosis des jeweiligen Herbizids. Die Dosierung wurde so gewählt, dass bei der sensitiven Vergleichsherkunft ein mittlerer Wirkungsgrad im Bereich von 85-95 % erzielt wurde. Bei den anwendungsspezifisch variablen Aufwandmengen der Präparate Atlantis OD (Mesosulfuron + Iodosulfuron), Attribut (Propoxycarbazone) und Broadway (Pyroxulam + Florasulam) wurde zudem die praxisübliche Aufwandmenge berücksichtigt. Die Behandlungen wurden mit vier bis fünf Wiederholungen durchgeführt.

Nach der Herbizidapplikation wurden die Pflanzen für eine Wirkungsperiode von i.d.R. 21 Tagen in ein Gewächshaus verlagert. Gegenüber der Klimakammer wurde die Tagestemperatur auf 16 °C abgesenkt. Die Feuchtigkeit der Raumluft bewegte sich in einem Bereich von 50-95 % rLF. In Ergänzung zur natürlichen Lichtintensität wurde Kunstlicht mit einer Stärke von 5000 bis 8000 Lux nach Bedarf zugeschaltet. Nach Abschluss der Wirkungsperiode wurde die Herbizidwirkung in % Wirkungsgrad im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert und die Sprossfrischmasse durch Wägung bestimmt.

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

Präparat	Wirkstoff	Standard-dosis	Prüfkonzentrationen (% Standarddosis)			Applikations-termin
Handelsname	a.i.	a.i. g/ha	50	100	200	BBCH
Stomp Aqua	Pendimethalin	2002,00	-	●	●	00
Cadou SC	Flufenacet	250,00	●	●	-	00
Arelon Top	Isoproturon	1500,00	●	●	●	10-11
Lentipur 700	Chlortoluron	2100,00	●	●	●	10-11
Lexus*	Flupyr-sulfuron	9,26	-	●	●	10-11
Attribut	Propoxycarbazone	53,07	●	●	●	10-11
Atlantis OD	Mesosulfuron	9,72	●	●	●	12
	+ Iodosulfuron	+ 1,86				
Axial 50	Pinoxaden	60,00	-	●	●	12
Broadway*	Pyroxulam	15,03	●	●	●	12
	+ Florasulam	+ 5,02				
Ralon Super*	Fenoxaprop-P	76,32	-	●	●	12
Topik 100	Clodinafop	53,46	-	●	●	12
Focus Ultra	Cycloxydim	200,00	-	●	-	12

\*) in Kombination mit präparatespezifischen Formulierungshilfsstoff; ● = Prüfkonzentration angewendet;  
= Prüfkonzentration nicht angewendet; BBCH = Skala für das phänologische Pflanzen-Entwicklungsstadium

Für die Bewertung der Herbizidsensitivität der Prüferkünfte wurde eine Resistenzklassifikation verwendet (CLARKE et al., 1994). Das Bewertungssystem beruht auf der Ermittlung von fünf Resistenzklassen. Diese ergeben sich aus dem Wirkungsunterschied zwischen einer im jeweiligen Versuch mitgeprüften sensitiven und einer resistenten Vergleichsherkunft. Hierdurch können die Auswirkungen von Umwelteinflüssen bei der Versuchsdurchführung auf die Resistenzbewertung verringert werden. Für die Wirkungseinstufung wurden primär die Frischmasseergebnisse aus der Behandlung mit der Standarddosis verwendet. Bei einem Wirkungsergebnis in der Stufe 1 liegt die Herbizidsensitivität der jeweiligen Prüferkunft im Bereich der sensitiven Vergleichsherkunft. Ab der Stufe 2 dieser Klassifikation werden Herkünfte zwar bereits als „resistent“ bezeichnet, für die Resistenzeinstufung der Prüferkünfte wurde die Stufe 2 jedoch als intermediär mit einem Verdacht auf Herbizidresistenz bewertet. Biotypen, die im Test die Stufen 3-5 erreichten, wurden gegenüber dem jeweiligen Herbizid als resistent bis hoch resistent eingestuft.

### 3. Ergebnisse

Im Untersuchungszeitraum von 2004 bis 2010 ist eine kontinuierliche, progressive Zunahme der Resistenzfälle bei den untersuchten Biotypen bzw. Herkünften gegenüber verschiedenen Herbiziden festzustellen. Bei einem jährlichen Prüfumfang von ca. 40 Resistenzuntersuchungen kann daher von einer zunehmend ansteigenden Resistenzdynamik bei Ackerfuchsschwanz ausgegangen werden.

Im Vergleich der verschiedenen Herbizide sind seit 2007 die ACCase-Hemmer Fenoxaprop-P (Ralon Super<sup>®</sup>) und Clodinafop (Topik 100<sup>®</sup>), mit einem Anteil von 32 bzw. 18 % der geprüften Herkünfte, besonders stark von Herbizidresistenz bei Ackerfuchsschwanz betroffen. Eine demgegenüber relativ schwächere Resistenzbelastung wurde für Pinoxaden (Axial 50<sup>®</sup>) und Flupyr-sulfuron (Lexus) mit einer Häufigkeit von 12 bzw. 14 % festgestellt. Eine relativ geringe Resistenzbelastung zeigen bisher Propoxycarbanone (Attribut<sup>®</sup>), Pendimethalin (Stomp Aqua<sup>®</sup>) und Chlortoluron (Lentipur 700<sup>®</sup>) mit einem Resistenzanteil von 6 bis 8 % der untersuchten Herkünfte. Bei Pyroxulam (Broadway<sup>®</sup>), Mesosulfuron (Atlantis<sup>®</sup>) und Isoproturon (Arelon Top<sup>®</sup>) wurden nur in Einzelfällen Resistenzen nachgewiesen. Gegenüber Flufenacet (Cadou SC<sup>®</sup>) wurde bisher keine Ackerfuchsschwanz-Herkunft als resistent eingestuft.

**Tab. 2** Resistenzhäufigkeit im Vergleich der untersuchten Herbizide im Durchschnitt der Jahrgänge 2004 bis 2010 (n = 296 Herkünfte).

**Tab. 2** *Rate of herbicide resistance in case of the evaluated herbicides as an average of the years 2004 till 2010 (n = 296 origins).*

Präparat	Wirkstoff	Anteil herbizidresistenter Herkünfte
Handelsname	a.i.	%
Ralon Super	Fenoxaprop-P	32
Topik 100	Clodinafop	18
Lexus	Flupyrsulfuron	14
Axial 50	Pinoxaden	12
Attribut	Propoxycarbazone	8
Stomp Aqua	Pendimethalin	7
Lentipur 700	Chlortoluron	6
Arelon Top	Isoproturon	1
Atlantis OD	Mesosulfuron + Iodosulfuron	1
Broadway	Pyroxsulam + Florasulam	1
Cadou SC	Flufenacet	0

In Bezug auf die jeweilige Wirkmechanismusgruppe sind ACCase-Hemmer-Herbizide (HRAC: A), mit einer Resistenzhäufigkeit von über 60 %, am eindeutig stärksten betroffen. Bei einem Anteil von 24 % resistenter Herkünfte gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Hemmer (HRAC: B) darf die Gefährdung dieser wichtigen Herbizidgruppe allerdings auf keinen Fall unterschätzt werden. Am unproblematischsten erscheint die Resistenzsituation bei den primär bodenaktiven Herbiziden aus der HRAC-Gruppe K und C mit einer Resistenzhäufigkeit von 0-7 %.

Da nur in wenigen Einzelfällen zusätzliche, molekularbiologische Untersuchungen hinsichtlich einer gegebenenfalls vorhandenen Target-Site-Resistenz durchgeführt wurden, kann keine klare Aussage zum jeweiligen Resistenzmechanismus bzw. zu einem eventuell vorhandenen Anteil an Biotypen mit Target-Site-Resistenz in den verschiedenen Populationen getroffen werden. Aufgrund der vorwiegend dosisabhängigen Reaktion der resistenten Herkünfte im Biotest kann allerdings angenommen werden, dass die metabolische Resistenz noch der vorrangige Resistenzmechanismus ist. Bisher trat nur eine Herkunft mit einer hohen Resistenz gegenüber Cycloxydim (Focus Ultra®) im Biotest auf, die sich durch eine weitere molekularbiologische Untersuchung als Target-Site-Resistenz gegenüber ACCase-Hemmern bestätigte.

**Tab. 3** Häufigkeit der Herbizidresistenz je nach Wirkmechanismusgruppe.

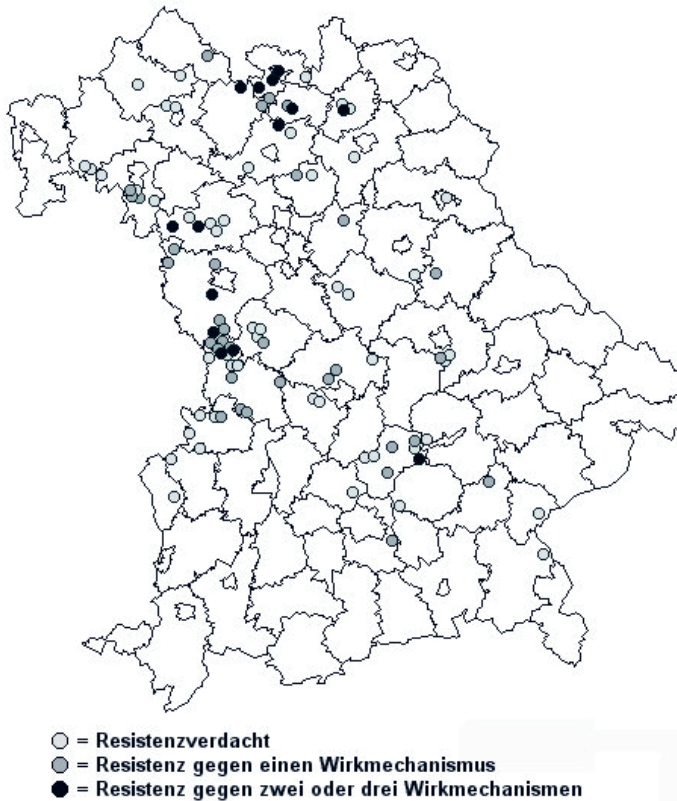
**Tab. 3** *Rate of herbicide resistance according to mode of action.*

Herbizid	HRAC	Anteil herbizidresistenter Herkünfte
Wirkmechanismus	Code	%
ACCCase-Hemmer	A	61
ALS-Hemmer	B	25
Photosystem-II-Hemmer	C	7
Zellwachstums-Hemmer	K	7

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

Die Verteilungshäufigkeit der Resistenzfälle bei Ackerfuchsschwanz zeigt eine gewisse Häufung in den Regionen nördliches Schwaben, westliches Mittelfranken und nordwestliches Oberfranken. Diese Gebiete zeichnen sich durch einen bereits sehr langen Ackerfuchsschwanzbefall und höheren Besatzdichten der betroffenen Ackerflächen aus. Außerdem handelt es sich um Regionen mit einem

intensiven Ackerbau mit relativ hohen Wintergetreideanteilen in den Fruchtfolgen.



**Abb. 1** Verteilung herbizidresistenter Ackerfuchsschwanz-Herkünfte in Bayern aus den Resistenzuntersuchungen von 2004 bis 2010 (n = 296).

**Fig. 1** Distribution of herbicide resistant black-grass in Bavaria from the resistance tests of 2004 till 2010 (n = 296).

#### 4. Diskussion

Die Entwicklung und Situation der Herbizidresistenz von Ackerfuchsschwanz zeigt deutliche Zusammenhänge zu der zurückliegenden und aktuellen Produktionspraxis in Bayern. Der in den 1970er Jahren übliche, intensive Einsatz von Chlortoluron zur Ungrasbekämpfung wird immer noch mit einer Resistenzhäufigkeit von 6 % in den untersuchten Ackerfuchsschwanz-Herkünften nachgewiesen, obwohl das Herbizid über längere Zeit nicht mehr zur Anwendung kam. Die betroffenen Populationen verfügen offensichtlich über ein ausdauerndes „genetisches Gedächtnis“ hinsichtlich des relativ lange zurückliegenden Selektionsprozesses. Die in den 1990er Jahren in der Praxis wesentlich intensiver diskutierte IPU-Resistenz lässt sich dagegen nur sehr begrenzt durch die Resistenzuntersuchungen bestätigen. Die häufig vermutete Feldresistenz wird ggf. zu einem großen Teil auch von anwendungstechnischen Faktoren bestimmt. Letztlich ist bei den Besatzdichten auch eine signifikante Zunahme im Verlauf der letzten 10 bis 15 Jahre auf typischen Ackerfuchsschwanz-Standorten aufgetreten und das Wirkungspotenzial von IPU ist nicht mit dem neuerer Herbizide aus z.B. der Gruppe der ALS-Hemmer vergleichbar. Eine eher überraschende Situation ist die faktisch nicht vorhandene Kreuzresistenz zwischen IPU und CTU. Da es sich um chemisch sehr ähnliche Wirkstoffe mit einem gleichartigen Wirkmechanismus handelt, ist zu vermuten, dass neben der metabolischen Resistenz weitere Resistenzmechanismen an der wirkstoffspeifischen

Resistenzentwicklung beteiligt sind. Bei der, mit einem Anteil von 7 %, überschaubaren Resistenz gegenüber Pendimethalin liegt der Schluss hinsichtlich einer langjährigen metabolischen Anpassung bei den betroffenen Populationen sehr nahe. Der Wirkstoff verfügt in der registrierten Standardaufwandmenge über keine ausreichende Ackerfuchsschwanzwirkung im Nachaufverfahren und dennoch ist Pendimethalin eine häufige Tankmischungskomponente mit stark reduzierten Aufwandmengen. Aufgrund der Kombination mit verschiedenen, blattaktiven Gräserherbiziden wurde in der Praxis die ggf. vorhandene Resistenz gegenüber Pendimethalin dennoch nicht auffällig. Die erste „große Welle“ mit Resistenzproblemen betraf das rein blattaktive Gräser-Spezialherbizid Fenoxaprop-P. Aufgrund der hohen Anwendungshäufigkeit und der gleichzeitig starken Resistenzgefährdung der ACCase-Wirkmechanismusgruppe wurde eine Resistenzquote von 32 % festgestellt. Clodinafop und Pinoxaden sind zwar mit einem Anteil von 18 bzw. 12 % auch deutlich betroffen, aber aufgrund der im Vergleich niedrigeren Einsatzhäufigkeit wesentlich schwächer als Fenoxaprop-P. Durch die, aufgrund der Selektivität erforderlichen hohen Anwendungshäufigkeit von Pinoxaden im Gerstenanbau kann sich bei diesem Wirkstoff aber noch eine verstärkte Resistenzdynamik in den nächsten Jahren entwickeln. Die ersten Resistenzen gegenüber ALS-Hemmern sind nahezu zeitgleich bei Flupyrsulfuron und Propoxycarbazone aufgetreten. Trotz einer Resistenzquote von 8 % ist bei Propoxycarbazone eine wesentlich schwächere Resistenzdynamik als im Vergleich zu Flupyrsulfuron vorhanden. Als Erklärung kann die ehemals hohe Einsatzhäufigkeit aufgrund der günstigen Präparatekosten herangezogen werden. Damit hat sich die vergleichsweise hohe Vorzüglichkeit sehr schnell als negativer Faktor hinsichtlich der Resistenzentwicklung für dieses Herbizid herausgestellt. Aufgrund der aktuell hohen Einsatzhäufigkeit kann für Atlantis und Broadway eine vergleichbar negative Entwicklung befürchtet werden.

Die im Vergleich zu anderen Ackerfuchsschwanz-Regionen Deutschlands in Bayern relativ moderate Resistenzdynamik kann zum großen Teil mit der vielfältigen Anbaupraxis erklärt werden. In vielen Fällen sind es eher betriebsspezifische Faktorkombinationen, die zu einer problematischen Resistenzentwicklung geführt haben. Der aber zunehmende Trend zu kurzfristig ökonomisch vorteilhaften Anbausystemen mit monotonen Fruchtfolgen, minimierter Bodenbearbeitung und einseitigen Herbizidbehandlungskonzepten lässt dennoch einen weiter ansteigenden Trend in der Entwicklung der Herbizidresistenz bei Ackerfuchsschwanz befürchten.

## Literatur

CLARKE, J.H., A.M. BLAIR AND S.R. MOSS, 1994: THE TESTING AND CLASSIFICATION OF HERBICIDE RESISTANT *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK-GRASS). ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY **37**, 181-188.

## Herbizidresistenz bei *Apera spica-venti* L. in Bayern

*Herbicide resistance of Apera spica-venti L. in Bavaria*

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.2012.434.015

### Zusammenfassung

Windhalm ist eines der wichtigsten Leitunggräser im bayerischen Ackerbau. Für die Vermeidung von hohen Ertrags- und Qualitätsverlusten ist eine effektive chemische Bekämpfung im Wintergetreideanbau unverzichtbar. Durch Veränderungen in der Produktionstechnik, wie z. B. vereinfachten Fruchtfolgen und reduzierter Bodenbearbeitung, haben die Besatzdichten in den Befallsregionen zugenommen. Seit etwa 10 Jahren ist eine deutliche Entwicklung von herbizidresistenten Biotypen und Populationen feststellbar.

Der bayerische Pflanzenschutzdienst verfügt über langjährige Erfahrungen zur Resistenzentwicklung bei Windhalm. Die Auswertung von Verdachtsuntersuchungen und Monitoringerhebungen beschreibt die Resistenzentwicklung von Windhalm in Bayern. Neben der Auswertung von Resistenzuntersuchungen wird die Resistenzentwicklung in den Bezug zur Veränderung von ackerbaulichen Rahmenbedingungen, zu betriebsspezifischen Standortfaktoren und zu produktionstechnischen Besonderheiten gestellt.

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

**Stichwörter:** Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung, Windhalm

### Summary

Loose silky-bent grass is one of the most important grass weeds in Bavaria. Effective chemical weed control is indispensable to prevent loss of yield and harvest quality in winter cereals. Crop rotations with more winter cereals, reduced soil cultivation and harvesting by private contractors caused a higher distribution of loose silky-bent in arable farming regions. Events of herbicide resistance were observed since the last 10 years. Herbicide resistance in loose silky-bent is well managed by the official plant protection service of Bavaria. A wide experience of resistance tests shows the development of resistant loose silky-bent grass and provides an opportunity for future prospects in resistance dynamics.

**Keywords:** Grass weed control, herbicide resistance management, loose silky-bent grass

### 1. Einleitung

Windhalm (*Apera spica-venti*) ist nach Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) das zweitwichtigste Leitunggras im Wintergetreideanbau in Bayern. Windhalm tritt im Vergleich zum Ackerfuchsschwanz auch auf Standorten mit leichteren Böden auf. Aufgrund der Hauptkeimperiode im Herbst können jahrgangsweise wechselnde Besatzdichten beobachtet werden, wobei in Jahren mit einer niederschlagsreichen Witterung im Herbst tendenziell eine stärkere Windhalmentwicklung auftritt. Das Schädigungspotenzial von durchschnittlich 20 bis 30 % des Wintergetreideertrages wird in der Praxis häufig unterschätzt. Wohl auch aus diesem Grund war in der Vergangenheit eine teilweise deutliche Reduzierung der Standardaufwandmengen bei der Herbizidbehandlung in der Praxis nicht unüblich. Gebräuchliche Behandlungen auf der Basis von Pendimethalin oder Diflufenican in Ergänzung mit Isoproturon (IPU) wurden teilweise nur mit 50 % der zugelassenen Aufwandmenge eingesetzt. Die auf Windhalm-Standorten regelmäßig notwendige Herbizidbehandlung wird in der Wintergerste nahezu vollständig im Herbst durchgeführt, während in Winterweizen die Windhalmbekämpfung zum Großteil erst im Frühjahr vorgenommen wird. Erste Diskussionen hinsichtlich einer möglichen IPU-Resistenz bei Windhalm sind Anfang der 1990er Jahre aufgekommen. Mit der Einführung und Anwendung von alternativen Bodenherbiziden auf der Basis von Flufenacet und Flurtamone ist diese Problematik aus dem Fokus der Praxis und Beratung verdrängt worden. Praxisübliche Anwendungen mit Pendimethalin + IPU wurden im Winterweizen

häufig durch die Tankmischung aus Pendimethalin + Flupyrsulfuron ersetzt. Auch bei der Frühjahrsbehandlung wurde im Winterweizen IPU ab dem Jahr 2000 zunehmend durch ALS-Hemmer wie Flupyrsulfuron, Iodosulfuron oder Sulfosulfuron ersetzt. Nach dem relativ umfangreichen Wechsel zu ALS-Hemmer-Herbiziden traten seit etwa 2005 zunehmend Fälle mit unzureichenden Bekämpfungsleistungen bei der Anwendung von Herbiziden aus dieser Wirkmechanismusgruppe auf.

## 2. Material und Methoden

Die Herbizidresistenz von Verdachtsproben aus der Anbaupraxis und von systematischen Monitoringproben wurde in einem Biotest unter kontrollierten Umweltbedingungen untersucht. Die Samenproben wurden mit einem Saugluft-Stufensichter (Fabr. Pelz, Typ 2) aufbereitet. Anschließend wurde die Keimfähigkeit nach der ISTA-Methode ermittelt. Die Aussaat erfolgte flächig mit einem Mikrolöffel auf Pflanztopfträgerplatten (10 Töpfe mit 4,5 cm Durchmesser). Die Saatstärke wurde so eingestellt, dass nach der Korngröße und Keimfähigkeit der jeweiligen Herkünfte ein relativ gleichmäßiger Pflanzenbestand im Vergleich aller im Test befindlichen Prüferkünfte erreicht wurde. Als Substrat wurde ein natürlicher Mineralboden vom Standort Freising verwendet (Parabraunerde aus Lößlehm, 2,8 % org. Substanz, pH 7,2). Die auf den mit Feinbodenmaterial befüllten Töpfen aufgetragenen Samen wurden mit einem grobkörnigeren Material desselben Bodens abgedeckt, um eine Austrocknung zu verhindern, aber dennoch einen Lichtreiz auf den Keimling zu ermöglichen. Die Befuchtung erfolgte durch regelmäßiges Gießen und im Anstauverfahren zur gleichmäßigen Durchfeuchtung der Pflanztöpfe. Nach Bedarf wurde i.d.R. eine einmalige Düngung mit Flüssigdünger (Wuxal® 8-8-6, 100 ml/10 l Gießwasser) mit der Bewässerung vorgenommen. Die Anzucht bis zur Herbizidbehandlung fand in einer Starklicht-Klimakammer (Typ York® 520284) statt. Bei einer Tag:Nacht-Phase von 12:12 Stunden wurde die Temperatur in einem Bereich von 20 °C am Tag bis 12 °C in der Nachtperiode und die Lichtintensität in einem Bereich von 0-70000 Lux (Lampen Typ Phillips® MT400LE/U, Weißlicht mit tageslichtähnlichem Vollspektrum, 400 µmol PAR/m<sup>2</sup>s) geregelt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten.

**Tab. 1** Im Resistenztest verwendete Herbizide.

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

Präparat Handelsname	Wirkstoff a.i.	Standard- dosis a.i. g/ha	Prüfkonzentrationen (% Standarddosis)			Applikations- termin BBCH
			50	100	200	
Bacara forte	Flufenacet+ Furtamone+ Diflufenican	96+ 96+ 96	☒	☒	–	00
Cadou SC	Flufenacet	175,00	☒	☒	–	00
Arelon Top	Isoproturon	500,00	☒	☒	☒	10-11
Lentipur 700	Chlortoluron	1050,00	☒	☒	☒	10-11
Lexus*	Flupyrsulfuron	9,26	–	☒	☒	10-11
Axial 50	Pinoxaden	45,0	–	☒	☒	12
Broadway*	Pyroxsulam + Florasulam	8,88+2,96	☒	☒	☒	12
Falkon	Penoxsulam+ Diflufenican	15 +100	☒	☒	☒	12
Husar OD*	Iodosulfuron	9,32	☒	☒	☒	12

\*) in Kombination mit spezifischen Formulierungshilfsstoff des Präparats; ☒ = Prüfkonzentration angewendet;

– = Prüfkonzentration nicht angewendet; BBCH = Skala für das phänologische Pflanzen-Entwicklungsstadium

Die Applikation erfolgte je nach zu prüfenden Herbizid unmittelbar nach der Einsaat und Befuchtung im Voraufverfahren (BBCH 00) bzw. nach einer Anzuchtperiode von ca. 10-14 Tagen im Entwicklungsstadium BBCH 10-12. Hierfür wurde eine linearangetriebene Laborspritzbahn (Fabr. Schachtner) verwendet. Die Applikationskabine war mit Flachstrahldüsen vom Typ TeeJet® 8001EVS ausgestattet. Bei einem Spritzdruck von 2,5 bar und einer Geschwindigkeit von 2,0 km/h betrug die Wasseraufwandmenge 200 l/ha. Bei den durchgeführten Dosis-Wirkungsversuchen wurde mit 2 bis 3 Konzentrationsstufen der eingesetzten Herbizide gearbeitet. Dabei entsprach eine der geprüften Konzentrationen der zugelassenen Standarddosis des jeweiligen Herbizids. Die Dosierung wurde so gewählt, dass bei der sensitiven Vergleichsherkunft ein mittlerer Wirkungsgrad im Bereich von 85-



95 % erzielt wurde. Die Behandlungen wurden mit vier bis fünf Wiederholungen durchgeführt.

Nach der Herbizidapplikation wurden die Pflanzen für eine Wirkungsperiode von i.d.R. 21 Tagen in ein Gewächshaus verlagert. Gegenüber der Klimakammer wurde die Tagestemperatur auf 16 °C erhöht. Die Feuchtigkeit der Raumluft bewegte sich in einem Bereich von 50-95 % rLF. In Ergänzung zur natürlichen Lichtintensität wurde Kunstlicht mit einer Stärke von 5000 bis 8000 Lux nach Bedarf zugeschaltet. Nach Abschluss der Wirkungsperiode wurde die Herbizidwirkung in % Wirkungsgrad im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert und die Sprossfrischmasse durch Wägung bestimmt.

Für die Bewertung der Herbizidsensitivität der Prüfherkünfte wurde eine Resistenzklassifikation verwendet (CLARKE et al., 1994). Das Bewertungssystem beruht auf der Ermittlung von fünf Resistenzklassen. Diese ergeben sich aus dem Wirkungsunterschied zwischen einer im jeweiligen Versuch mit geprüften sensitiven und einer resistenten Vergleichsherkunft. Hierdurch können die Auswirkungen von Umwelteinflüssen bei der Versuchsdurchführung auf die Resistenzbewertung verringert werden. Für die Wirkungseinstufung wurden primär die Frischmasseergebnisse aus der Behandlung mit der Standarddosis verwendet. Bei einem Wirkungsergebnis in der Stufe 1 liegt die Herbizidsensitivität der jeweiligen Prüfherkunft im Bereich der sensitiven Vergleichsherkunft. Ab der Stufe 2 dieser Klassifikation werden Herkünfte zwar bereits als „resistent“ bezeichnet, für die Resistenzeinstufung der Prüfherkünfte wurde die Stufe 2 jedoch als intermediär mit einem Verdacht auf Herbizidresistenz bewertet. Biotypen, die im Test die Stufen 3-5 erreichten, wurden gegenüber dem jeweiligen Herbizid als resistent bis hoch resistent eingestuft.

### 3. Ergebnisse

Der Bayerische Pflanzenschutzdienst führt seit 2004 ein systematisches Untersuchungsprogramm zur Überprüfung der Herbizidresistenz bei Windhalm durch. Während in den ersten Jahren nur sporadische Einzelfälle auftraten, ist seit dem Jahrgang 2009 eine deutliche Zunahme von Herkünften mit herbizidresistentem Windhalm festzustellen. Die Steigerung der Resistenz-Häufigkeit wurde vorwiegend durch eine zunehmende Resistenz und Kreuzresistenz gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Hemmer (HRAC-Klasse: B) verursacht. Im Mittel der bisherigen Untersuchungen bei 128 Herkünften ist die IPU-Resistenz mit einem Anteil von 28 % zwar nicht unbedeutend, die Sulfonylharnstoffherbizide Flupyrsulfuron, Iodosulfuron und Sulfosulfuron sind mit einem Anteil von 26 %, 23 % bzw. 12 % allerdings relativ stärker betroffen. Auch gegenüber neuen Präparaten aus der Gruppe der ALS-Hemmer, wie Falkon<sup>®</sup> (Penoxsulam + Diflufenican) und Broadway<sup>®</sup> (Pyroxulam + Florasulam), wurden bereits Kreuzresistenzen festgestellt.

**Tab. 2** Resistenzhäufigkeit im Vergleich der untersuchten Herbizide im Mittel der Untersuchungsjahrgänge 2004 bis 2010 (n = 128 Herkünfte).

**Tab. 2** *Rate of herbicide resistance in case of the evaluated herbicides averaged over tests conducted 2004 to 2010 (n = 128 Biotypes).*

Präparat	Wirkstoff	Anteil herbizidresistenter Herkünfte	
Handelsname	a.i	%	
Arelon Top	Isoproturon	28	
Husar OD*	Iodosulfuron	26	
Lexus*	Flupyrsulfuron	23	
Falkon	Penoxsulam + Diflufenican	9	
Broadway*	Pyroxulam + Florasulam	2	
Axial 50	Pinoxaden	0	
Bacara forte	Flufenacet + Flurtamone + Diflufenican	0	
Cadou SC	Flufenacet	0	
Lentipur 700	Chlortoluron	0	

Gegenüber den Bodenherbiziden Chlortoluron (CTU), Flufenacet, dem Kombinationspräparat Bacara forte<sup>®</sup> (Flufenacet + Flurtamone + Diflufenican) und dem rein blattaktiven Graminiazid Axial 50 (Pinoxaden) sind bisher in Bayern noch keine Herbizidresistenzen nachgewiesen worden. In der Behandlungspraxis ist damit die Windhalmresistenz gegenüber Präparaten aus der Gruppe der ALS-

Hemmer die absolut dominierende Problematik. Die Verteilung von resistenten Windhalm-Herkünften zeigt eine einheitliche Betroffenheit in den traditionellen Windhalmregionen Süd-Bayerns.

**Tab. 3** Häufigkeit der Herbizidresistenz je nach Wirkmechanismusgruppe.

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

Herbizid	HRAC	Anteil herbizidresistenter Herkünfte
Wirkmechanismus	Code	%
ALS-Hemmer	B	72
Photosystem-II-Hemmer	C	28
ACCCase-Hemmer	A	0
Zellwachstums-Hemmer	K	0

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



○ Resistenzverdacht      ● Resistenz gegen einen Wirkmechanismus      ● Resistenz gegen zwei Wirkmechanismen

**Abb. 1** Verteilung herbizidresistenter Windhalm-Herkünfte in Bayern; Resistenzuntersuchungen von 2004 bis 2010 (n = 128).

**Fig. 1** *Distribution of herbicide resistant loose silky-bent grass in Bavaria; resistance monitoring 2004 to 2010 (n = 128).*

#### 4. Diskussion

Die Herbizidresistenz bei Windhalm entwickelt sich aufgrund einer zunehmenden Resistenzdynamik bei ALS-Hemmer-Herbiziden zu einem ernsthaften Problem in der Anbaupraxis. Während bei Wintergerste und früh gesättem Winterweizen auf bisher nicht resistenzgefährdete Boden-Breitbandherbizide (HRAC-Klasse: K3) ausgewichen werden kann, ist die Windhalmbekämpfung in Winterweizen zu einem Großteil auf den Einsatz von blattaktiven Herbiziden im Frühjahr angewiesen. Die bisher in zunehmenden Einzelfällen nachgewiesene hohe Resistenzdynamik gegenüber verschiedenen ALS-Hemmer-Herbiziden lässt eine generelle Gefährdung dieser Wirkmechanismusgruppe befürchten. Ein Ausweichen auf das in Bayern noch nicht von Resistenz betroffene Herbizid Pinoxaden (HRAC-Klasse: A) stellt keine nachhaltige Wirkstoffstrategie dar, weil auch dieser Wirkstoff bzw. diese Wirkmechanismusgruppe als resistenzgefährdet eingestuft werden muss (RAFFEL et al., 2010). Für ein Herbizidmanagement zur Vermeidung von multiresistenten Windhalm-Populationen (AUGUSTIN, 2010) kann daher nur auf den verstärkten Einsatz von weniger gefährdeten Bodenherbiziden aus der HRAC-Klasse K3 ausgewichen werden. Die bisher noch üblichen IPU-Behandlungen sollten nach Möglichkeit durch CTU (Chlortoluron) ersetzt werden, da zwischen diesen beiden Herbiziden aus der Gruppe der PS-II-Hemmer (HRAC-Klasse: C2) bisher noch keine Kreuzresistenzen bei Windhalm aufgetreten sind.

#### Literatur

- AUGUSTIN, B., 2010: WINDHALM-HERKUNFT AUS RHEINLAND-PFALZ MIT MULTIPLER HERBIZIDRESISTENZ. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 271-272.
- CLARKE, J.H., A.M. BLAIR UND S.R. MOSS, 1994: THE TESTING AND CLASSIFICATION OF HERBICIDE RESISTANT *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK-GRASS). ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY **37**, 181-188.
- RAFFEL, H., J. PETERSEN, J. GORNIK UND D. KAUNDUN, 2010: UNGRASRESISTENZ – WAS MÜSSEN WIR TUN UM DIE LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON WIRKSTOFFEN ZU ERHALTEN? JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 274.



## Untersuchungen zur Resistenz von Acker-Fuchsschwanz in Baden-Württemberg und zur Wirkung von Herbiziden in Winterweizen im Hinblick auf die Vermeidung von Resistenz

*Investigations into resistance in black-grass (*Alopecurus myosuroides*) in Baden-Württemberg and into herbicidal efficiency to reduce the risk of resistance developing*

Christoph Gutjahr<sup>1</sup>, Kerstin Hüsgen<sup>2</sup>, Tanja Reitz<sup>2</sup> & Friedrich Merz<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin, Fachgebiet Herbologie, Otto-Sander-Str. 5, D-70599 Stuttgart

<sup>2</sup>Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg - Außenstelle Stuttgart, Reinsburgstraße 107, D-70197 Stuttgart

<sup>3</sup>Regierungspräsidium Stuttgart, Referat 33 - Pflanzliche und tierische Erzeugung, Ruppmanstr. 21, D-70565 Stuttgart

\*Korrespondierender Autor, [friedrich.merz@rps.bwl.de](mailto:friedrich.merz@rps.bwl.de)

DOI: 10.5073/jka.2012.434.016

### Zusammenfassung

In Verdachtsproben aus unterschiedlichen Gebieten in Baden-Württemberg konnte in den Jahren 2008 bis 2010 bei Acker-Fuchsschwanz Resistenz gegen Herbizide aus der HRAC-Gruppe A nachgewiesen werden. 2008 traten auch Biotypen mit Resistenz gegen Flupyrsulfuron (HRAC-Gruppe B) auf. 2010 wurde bei weiteren Herbiziden aus dieser Gruppe eine deutliche Wirkungsminderung festgestellt.

Dieses Ergebnis spiegelte sich auch in den Ergebnissen der Feldversuche wider. Bei den Frühjahrsbehandlungen war nur mit der Variante Atlantis OD + Artus + Primus eine sehr gute Wirkung zu erzielen. Bei den anderen Varianten blieben auf einzelnen Standorten mit hohem Acker-Fuchsschwanzbesatz zu viele Ähren/m<sup>2</sup> stehen. Auf diesen Standorten sollte die Acker-Fuchsschwanzbekämpfung bevorzugt im Herbst durchgeführt werden. Mehrere Herbizidkombinationen mit Bodenherbiziden aus den HRAC-Gruppen K1/3 und F1 erzielten auch in früh gesättem Winterweizen sowohl gute Bekämpfungserfolge, als auch Mehrerträge, und waren wirtschaftlich.

**Stichwörter:** Erträge, Frühjahrs- und Herbstanwendungen, Herbizidkombinationen, Resistenztest, Unkrautbekämpfung, Wirtschaftlichkeit

### Summary

Suspicious samples of black-grass seeds from fields in Baden-Württemberg were tested in the greenhouse in 2008 to 2010 for their degree of resistance. The resistance to ACCase-inhibiting herbicides was widespread. In the year 2008, black-grass plants from a few samples survived treatments with the ALS inhibitor flupyrsulfuron. In 2010, a few other ALS-inhibiting herbicides showed a reduced performance.

Resistance to ALS and ACCase inhibitors occurred in the field trials too. Spring only applications of Atlantis OD + Artus + Primus provided very good levels of control. The other herbicides did not provide an acceptable level of control on some fields. There was still a high number of seed heads remaining in the field. On these fields, pre-emergence herbicides (HRAC groups K1/3 and F1) have a valuable role in resistance management strategy. The treatments in autumn with pre-emergence herbicides in mixture or sequence provided good control and economic surplus.

**Keywords:** Application in spring and autumn, combinations of herbicides, economics, resistance test, weed control, yield

### 1. Einleitung

Nachdem auch in Baden-Württemberg eine unzureichende Wirkung verschiedener Herbizide bei der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in zunehmender Häufigkeit festgestellt worden war, wurden von der amtlichen Pflanzenschutzberatung gezielt Acker-Fuchsschwanzsamen aus Praxis schlägen mit Minderwirkung gesammelt. Um die Ursache der Minderwirkungen und die betroffenen Wirkungsklassen festzustellen, hat das Fachgebiet Herbologie der Universität Hohenheim im Gewächshaus bzw. in der Vegetationshalle Resistenztests angelegt.

Gleichzeitig wurde in den Landes- und Gemeinschaftsversuchen Baden-Württemberg geprüft, wie der Acker-Fuchsschwanz in Winterweizen mit neuen Herbiziden oder Herbizidkombinationen bekämpft werden kann.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Resistenzuntersuchungen**

Für den Resistenztest wurden ca. 300 ml reife Acker-Fuchsschwanzsamen geerntet und trocken in Papiertüten an das Fachgebiet Herbologie versandt. In einem Probenbegleitblatt wurden Angaben zur Schlaghistorie, Befallsdichte und der Name des betroffenen Herbizids erfasst. Nach erfolgten Keimproben wurden die Acker-Fuchsschwanzsamen in Jiffy Pots (8 x 8 cm) in ein Lehm-Kompostgemisch gesät und mit Sand abgedeckt. Bei dreifacher Wiederholung wurde eine Bestandesdichte von 15 Pflanzen je Topf angestrebt.

Die Herbizidapplikation wurde in einem Laborspritzstand mit einem Wasseraufwand von 400 l/ha in BBCH 11-12 der Acker-Fuchsschwanzpflanzen durchgeführt. Nach zehn Tagen erfolgte die erste Auswertung, die abschließende nach 25 Tagen. Die Ergebnisse wurden mit der Wirkung auf einen sensitiven Standard verglichen.

### **2.2 Feldversuche**

Die Feldversuche wurden als Blockanlage mit vierfacher Wiederholung angelegt. Die Größe der Einzelparzelle betrug mindestens 20 m<sup>2</sup>. Die Ausbringung der Herbizide erfolgte mit Parzellenspritzen mit 300 l Wasser/ha. Im Landesversuch 106 (Tab. 1) ging man der Frage nach, wie neue Herbizide oder Herbizidkombinationen für die Anwendung im Frühjahr hinsichtlich Wirkung und Kulturverträglichkeit, vor allem unter dem Aspekt der Vermeidung von Resistenzbildung, zu beurteilen sind. Die Behandlungen erfolgten im Nachaufbau nach Vegetationsbeginn, spätestens wenn der Acker-Fuchsschwanz das Stadium 25 erreicht hatte.

Im Gemeinschaftsversuch (Tab. 2) wurde die Wirkung und Kulturverträglichkeit von Isoproturon-freien Herbiziden oder Herbizidkombinationen in früh gesättem Winterweizen geprüft. Die Herbizide wurden im Herbst nach dem Auflaufen im Entwicklungsstadium 12 bis 14 des Acker-Fuchsschwanzes appliziert. Eine Ausnahme bildete die Variante 3. Bacara forte + Cadou SC kamen im Jahr 2010 bereits zum Einsatz, als der Acker-Fuchsschwanz das Stadium 10 bis 11 erreicht hatte.

**Tab. 1** Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Winterweizen – Frühjahrsanwendung, Versuchsplan.**Tab. 1** Control of black-grass in winter wheat – spring application, experimental design.

Var.	Mittel	Aufwand kg, l/ha	HRAC- Gruppe Gräserwirkstoff
1	Kontrolle	-	-
2	Ralon Super + Lentipur 700 (Fenuron Super Set) Fenoxaprop-P (63,6 g/l) + Chlortoluron (700 g/l)	0,8 + 2,4	A, C2
3 (2008)	Caliban Top Amidosulfuron (60 g/kg), Iodosulfuron (7,74 g/kg), Propoxycarbazone (132,7 g/kg)	0,3	B
3	Caliban Duo + Platform S Iodosulfuron (9,3 g/kg), Propoxycarbazone (159,2 g/kg) + Carfentrazone (14 g/kg), Mecoprop-P (600 g/kg)	0,333 + 0,75	B
4 (2008)	Topik 100 + Öl + Aniten Super Clodinafop (89,1 g/l) + Ioxynil (180 g/l), Mecoprop-P (290 g/l)	0,6 + 1,0 + 1,5	A
4	Topik 100 + Öl + Starane XL Clodinafop (89,1 g/l) + Florasulam (2,5 g/l), Fluroxypyr (100 g/l)	0,6 + 1,0 + 1,5	A
5	Ralon Super + MonFast + Biathlon + Starane XL Fenoxaprop-P (63,6 g/l) + Tritosulfuron (714 g/kg) + Florasulam (2,5 g/l), Fluroxypyr (100 g/l)	1,0 + 0,4 + 0,07 + 0,75	A
6	Traxos + Primus Clodinafop (22,3 g/l), Pinoxaden (25 g/l) + Florasulam (50 g/l)	1,2 + 0,1	A
7	Broadway + <i>Broadway Netzmittel</i> Florasulam (22,8 g/kg), Pyroxulam (68,3 g/kg)	0,22 + 1,0	B
8	Broadway + <i>Broadway Netzmittel</i> + Pointer SX Florasulam (22,8 g/kg), Pyroxulam (68,3 g/kg) + Tribenuron (482,3 g/kg)	0,22 + 1,0 + 0,03	B
9	Atlantis OD + Artus + Primus Iodosulfuron (1,86 g/l), Mesosulfuron (9,72 g/l) + Carfentrazone (372,8 g/kg), Metsulfuron (96,3 g/kg) + Florasulam (50 g/l)	1,2 + 0,04 + 0,05	B
10	Attribut + Primus Propoxycarbazone (663,4 g/kg) + Florasulam (50 g/l)	0,1 + 0,1	B
11 (2008)	Axial 50 EC + Ariane C Pinoxaden (50 g/l) + Clopyralid (80 g/l), Florasulam (2,5 g/l), Fluroxypyr (100 g/l)	1,2 + 1,5	A
11	Axial 50 EC + Primus Pinoxaden (50 g/l) + Florasulam (50 g/l)	1,2 + 0,1	A

**Tab. 2** Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Winterweizen – Herbstanwendung, Versuchsplan.**Tab. 2** Control of black-grass in winter wheat – autumn application, experimental design.

Var.	Mittel	Aufwand kg, l/ha	HRAC- Gruppe <sup>2)</sup>
1	Kontrolle	-	-
2 (2009)	Absoute M + Stomp SC + Starane XL <sup>1)</sup> Diflufenican (444 g/kg), Flupyralsulfuron (53,5 g/kg) + Pendimethalin (400 g/l) + Florasulam (2,5 g/l), Fluroxypyr (100 g/l)	0,18 + 1,5 + 1,0	F1, B, K1
2	Absoute M + Stomp Aqua + Starane XL <sup>1)</sup> Diflufenican (444 g/kg), Flupyralsulfuron (53,5 g/kg) + Pendimethalin (455 g/l) + Florasulam (2,5 g/l), Fluroxypyr (100 g/l)	0,18 + 1,5 + 1,0	F1, B, K1
3	Bacara forte + Cadou SC Diflufenican (120 g/l), Flufenacet (120 g/l), Flurtamone (120 g/l) + Flufenacet (500 g/l)	1,0 + 0,25	F1, K3
4	Ciral + Sumimax Flupyralsulfuron (307,8 g/kg), Metsulfuron (160,8 g/kg) + Flumioxazin (500 g/kg)	0,025 + 0,05	B, E
5	Herold SC + Traxos Diflufenican (200 g/l), Flufenacet (400 g/l) + Clodinafop (22,3 g/l), Pinoxaden (25 g/l)	0,6 + 1,2	F1, K3, A
6	Axial 50 EC + Bacara forte Pinoxaden (50 g/l) + Diflufenican (120 g/l), Flufenacet (120 g/l), Flurtamone (120 g/l)	0,9 + 0,9	A, F1, K3
7	Lexus + Picona Flupyralsulfuron (462,97 g/kg) + Pendimethalin (320 g/l), Picolinafen (16 g/l)	0,02 + 2,0	B, K1, F1
8	Alister Diflufenican (150 g/l), Iodosulfuron (2,8 g/l), Mesosulfuron (9 g/l)	1,0	F1, B

<sup>1)</sup> nur bei hohem Besatz mit *Galium aparine*, im Nachaufbau nach Vegetationsbeginn im Frühjahr; <sup>2)</sup> Gräserwirkstoff

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Resistenzuntersuchungen

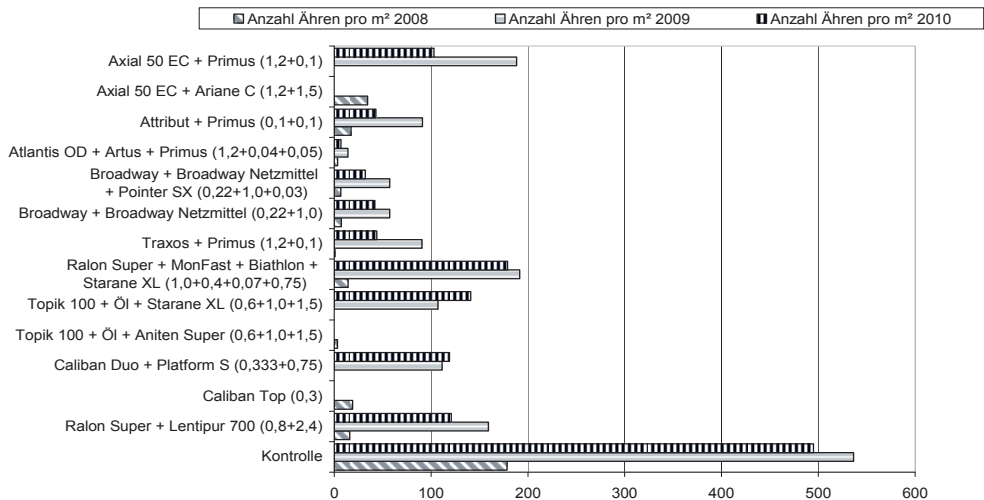
Die vermutete Resistenz wurde für Ralon Super in der Regel bestätigt. 2009 und 2010 wirkte Ralon Super selbst bei den als sensitiv geltenden Standards nicht ausreichend. Die gegen Ralon Super resistenten Herkünfte wiesen 2008 und 2009 zudem eine ausgeprägte Kreuzresistenz gegen Lexus auf. Die 2008 ermittelte Minderwirkung des DIM-Wirkstoffes in Select 240 EC war in den beiden folgenden Jahren nicht mehr nachweisbar. Gegen den FOP-Wirkstoff in Fusilade MAX waren im gesamten Untersuchungszeitraum einzelne Herkünfte resistent. Gegen das 2009 erstmals geprüfte Topik waren vier, im folgenden Jahr drei Biotypen resistent. Unter den Herbiziden der HRAC-Gruppe A zeigte Axial 50 die beste Wirkung. In allen Jahren konnten jedoch einzelne Biotypen mit deutlicher Resistenz beobachtet werden. Atlantis WG war 2008 und 2009 in allen Herkünften erfolgreich. 2010 waren jedoch, wie bei Broadway und Caliban Duo, Wirkungsminderungen festzustellen. Arelon Top (Isoproturon) erzielte bei allen untersuchten Herkünften sehr gute Bekämpfungserfolge.

#### 3.2 Feldversuche

Die Ergebnisse der Frühjahrsbehandlungen sind in der Abbildung 1 zusammengestellt. Auf Flächen mit geringem Ausgangsbesatz konnte mit allen Varianten eine gute Wirkung erzielt werden. Auf Standorten mit hoher Acker-Fuchsschwanzdichte zeigte sich jedoch ein differenzierteres Bild. In den Varianten 11 (Axial 50 EC) und 2 sowie 5 (Ralon Super) wurde zwar die Anzahl an Acker-Fuchsschwanzähren deutlich reduziert, aber auf einigen Standorten keine ausreichenden



Wirkungsgrade erzielt. In den Varianten 3 (Caliban) und 10 (Attribut) zeigte sich ein vergleichbares Bild. Im Durchschnitt war die Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz jedoch etwas besser. Die Variante 4 (Topik 100 + Öl + Starane XL) war 2009 und 2010 auf je einem Standort nahezu ohne Wirkung. 2010 ließ die Wirkung zudem auf zwei weiteren Standorten zu wünschen übrig. An den gleichen Standorten wurden auch bei Variante 6 (Traxos + Primus) Minderwirkungen sichtbar. An allen anderen Standorten erfüllten die Varianten 4 und 6 die Erwartungen. Die Kombinationen mit Broadway (Varianten 7 und 8) zeigten in allen drei Versuchsjahren, mit Ausnahme von je einem Standort in den Jahren 2009 und 2010, gute Wirkungsgrade. Die Variante 9 (Atlantis OD + Artus + Primus) überzeugte in allen Versuchen durch sehr gute Wirkungsgrade.



**Abb. 1** Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Winterweizen – Frühjahrsanwendung.

**Fig. 1** Control of black-grass in winterwheat – spring application. 2008 (n = 4); 2009 (n = 5), 2010 (n = 6)

An drei Standorten waren in einigen Varianten phytotoxische Schäden in Form von Aufhellungen, Wuchshemmungen und zum Teil auch Ausdünnungen festzustellen. Die Schäden haben sich bis zum Ende der Vegetation jedoch wieder verwachsen. Es wurden keine negativen Einflüsse auf den Ertrag festgestellt.

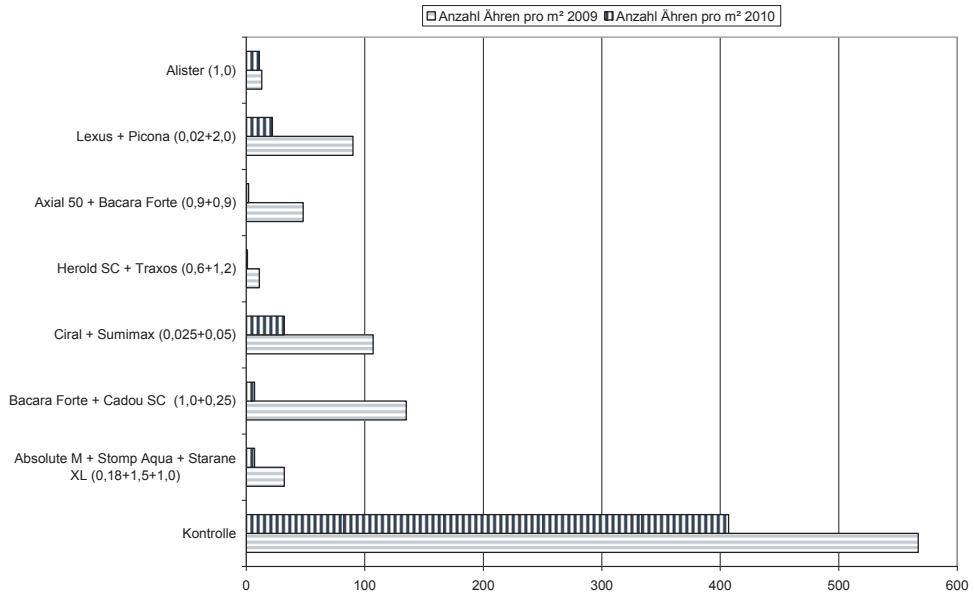
Die durchschnittlichen Ertragswerte und die Marktleistung in den Jahren 2008 - 2010 werden in der Tabelle 3 dargestellt. Von wenigen Ausnahmen auf einzelnen Versuchsstandorten abgesehen, konnten in den herbizidbehandelten Varianten statistisch gesicherte Mehrerträge gegenüber der Kontrolle erzielt werden. Nur auf einem Standort mit nachgewiesener Resistenz ließen sich die Mehrerträge der Varianten mit Caliban Duo, Broadway, Atlantis OD und Attribut auch gegenüber den Varianten mit Ralon Super und Topik 100 statistisch sichern. Zwischen den einzelnen Standorten sind in den drei Jahren deutliche wirtschaftliche Unterschiede zu erkennen, die auf den unterschiedlichen Acker-Fuchsschwanzbesatz, die unterschiedlichen Mehrerträge, aber auch die schwankenden Getreidepreise zurückzuführen sind. Die Mehrzahl der Herbizidanwendungen war jedoch wirtschaftlich.

**Tab. 3** Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Winterweizen – Frühjahrsanwendung, Erträge und Wirtschaftlichkeit.**Tab. 3** Control of black-grass in winter wheat – spring application, yield and economics.

Versuchsglieder	Ertragswerte in dt/ha			Ertragswerte rel. in % (Kontrolle: dt/ha)			Marktleistung nach Abzug der Pflanzenschutzmittel- und Ausbringungskosten in €/ha (Kontrolle: Marktleistung in €/ha)		
	2008; n = 4	2009; n = 4	2010; n = 6	2008; n = 4	2009; n = 4	2010; n = 6	2008; n = 4	2009; n = 4	2010; n = 6
1 Kontrolle	72,2	74,0	56,4	72,2	74,0	56,4	1301	927	1217
2 Ralon Super + Lentipur 700	83,6	84,7	72,9	116	117	152	1463	1003	1528
3 Caliban Top	82,3	-	-	114	-	-	-	-	-
3 Caliban Duo + Platform S		91,7	74,6		129	156	-	1070	1558
4 Topik 100 + Öl + Aniten Super	86,2	-	-	120	-	-	1483	-	-
4 Topik 100 + Öl + Starane XL	-	89,2	73,6	-	125	158	-	1008	1504
5 Ralon Super + MonFast + Biathlon + Starane XL	85,2	84,3	75,5	118	114	159	1469	980	1565
6 Traxos + Primus	84,7	88,5	76,5	118	123	163	1470*	1035*	1597*
7 Broadway + Broadway Netzmittel	84,6	89,5	77,1	118	125	161	-	1088	1609
8 Broadway + Broadway Netzmittel + Pointer SX	86,2	88,0	76,6	120	123	160	-	1059	1587
9 Atlantis OD + Artus + Primus	85,2	89,8	78,0	118	126	167	-	-	-
10 Attribut + Primus	85,2	89,8	75,8	118	127	158	1477	1073	1579
11 Axial 50 EC + Ariane C	81,9			113	-	-	-	-	-
11 Axial 50 EC + Primus	-	86,9	71,8	-	120	149	-	1014	1493

\* Preis Traxos Stand 2011

Abbildung 2 zeigt die Wirkung der Herbstanwendungen der Herbizide gegen Acker-Fuchsschwanz in früh gesäten Winterweizen. Der Acker-Fuchsschwanz-Besatz auf den Versuchsflächen reichte von 30 bis nahezu 1200 ährentragende Halme/m<sup>2</sup>. Bei den Herbstbehandlungen konnten 2009 an drei Standorten deutliche Wirkungsminderungen in den Varianten 4 (Ciral + Sumimax) sowie 7 (Lexus + Picon) festgestellt werden. 2010 waren diese Varianten auf je einem Standort ebenfalls nicht ausreichend wirksam. Die schlechte Wirkung der Variante 3 (Bacara Forte + Cadou SC) an drei, und der Variante 6 (Axial 50 + Bacara Forte) an zwei Standorten im Jahr 2009 konnte im Jahr 2010 nicht erneut festgestellt werden. Die Variante 5 (Herold SC + Traxos) erzielte in beiden Versuchsjahren die beste Wirkung, dicht gefolgt von Variante 8 (Alister).



**Abb. 2** Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Winterweizen – Herbstanwendung.

**Abb. 2** Control of black-grass in winter wheat – autumn application. 2009 (n = 6), 2010 (n = 5).

Die Kulturverträglichkeit war gut. Nur in der Variante 6 (Axial 50 + Bacara Forte) waren auf zwei Standorten Blattverbrennungen festzustellen, die sich bis zum Frühjahr jedoch wieder auswuchsen.

Bei hohen Acker-Fuchsschwanzbesätzen erzielten die Varianten im Vergleich zur Kontrolle gesicherte Mehrerträge (Tab. 4). Nur in zwei Versuchen im Jahr 2009 mit einem Besatz über 1000 ährentragenden Halme/m<sup>2</sup> konnten auch Ertragsunterschiede zwischen den Herbizidvarianten gesichert werden. Die Varianten mit der besten Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz erzielten auch die höchsten Erträge.

**Tab. 4** Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Winterweizen – Herbstanwendung, Erträge und Wirtschaftlichkeit.

**Tab. 4** Control of black-grass in early drilled winter wheat – autumn application, yield and economics.

Versuchsglieder	Ertragswerte in dt/ha		Ertragswerte rel. in % (Kontrolle: dt/ha)		Marktleistung nach Abzug der Pflanzenschutzmittel- und Ausbringungskosten in €/ha (Kontrolle: Marktleistung in €/ha)	
	2009; n = 6	2010; n = 4	2009; n = 6	2010; n = 4	2009; n = 6	2010; n = 4
1 Kontrolle	53,2	51,9	53,2	51,9	602	1091
2 Absolute M + Stomp Aqua + Starane XL	83,1	69,6	188	164	884	1419
3 Bacara Forte + Cadou SC	76,4	70,6	163	168	794	1420
4 Ciral + Sumimax	78,1	68,4	174	159	834	1399
5 Herold SC + Traxos	81,5	71,1	185	172	826*	1416*
6 Axial 50 + Bacara Forte	77,6	68,5	171	161	810	1379
7 Lexus + Picona	79,0	67,9	175	161	678	1387
8 Alister	80,7	69,9	181	167	852	1422

\* Preis Traxos Stand 2011

## **4. Diskussion**

### **4.1 Resistenzuntersuchungen**

Arelon Top war in allen Verdachtsherkünften gut wirksam. Die Minderwirkungen in der Praxis in Baden-Württemberg sind somit auf ungünstige Bedingungen zurückzuführen. Die Auflagen zum Schutz der Gewässer schränken jedoch die Anwendung von Isoproturon, insbesondere auf Problemstandorten mit tonigen Böden und Drainagen, erheblich ein. Herbizide der HRAC-Gruppe A erfassen lokal auftretende Biotypen des Acker-Fuchsschwanzes nicht mehr. Bei den Herbiziden der HRAC-Gruppe B sind bereits Minderwirkungen nachzuweisen. Eine weitere Ausbreitung der resistenten Biotypen muss durch pflanzenbauliche Maßnahmen und ein konsequentes Resistenzmanagement verhindert werden.

### **4.2 Feldversuche**

In den Versuchsjahren 2008 - 2010 erzielten die Herbizidanwendungen im Frühjahr standortübergreifend gute Wirkungsgrade. Auf einzelnen Standorten war die Reduzierung der Acker-Fuchsschwanzpflanzen jedoch nicht ausreichend. Die Minderwirkung bei Herbiziden, insbesondere aus der HRAC-Gruppe A, schränkt die Auswahl an Bekämpfungsmöglichkeiten im Frühjahr stark ein. Auf Problemflächen ist somit im Herbst die Vorlage einer Herbizidkombination mit Wirkstoffen aus anderen HRAC-Gruppen nahezu unverzichtbar und eine wichtige Grundlage für eine nachhaltige Bekämpfung des Acker-Fuchsschwanzes.

Aufgrund der hohen Tongehalte und der verlegten Drainagen können Isoproturon und Chlortoluron in Baden-Württemberg auf vielen Standorten wegen der Auflagen zum Schutz der Gewässer nicht eingesetzt werden. Deshalb wurden bei den Herbstbehandlungen nur Isoproturon-freie Herbizidvarianten geprüft. Es kamen Tankmischungen oder Spritzfolgen mit bodenwirksamen Herbiziden der HRAC-Gruppen E, K1/3 und F1 zum Einsatz. Abgesehen von wenigen Ausnahmen führten die Varianten zu einem guten Bekämpfungserfolg. Es ist anzunehmen, dass die unzureichende Wirkung in den Varianten 4 (Ciral + Sumimax) sowie 7 (Lexus + Picono) darauf zurückzuführen ist, dass sich an einigen Standorten bereits Flupyrsulfuron-resistente Acker-Fuchsschwanzpopulationen etabliert haben. Zur Klärung der Minderwirkung von anderen Varianten an einzelnen Standorten sind weitere Versuche erforderlich. Möglicherweise waren die Anwendungsbedingungen (z.B. die Bodenfeuchte) nicht optimal. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass auch in früh gesätem Winterweizen hohe Wirkungsgrade bei der Bekämpfung des Acker-Fuchsschwanzes zu erzielen sind. Die Herbizidmaßnahmen im Herbst verhindern Ertragsausfälle und sind bei hohem Acker-Fuchsschwanzbesatz wirtschaftlich. Die Ergebnisse der durchgeführten Versuche gehen in ein Konzept zur Bekämpfung des Acker-Fuchsschwanzes ein, das der amtliche Dienst der landwirtschaftlichen Praxis anbietet.

Resistente Biotypen treten in Baden-Württemberg bevorzugt in Gebieten auf, in denen Fruchtfolgen mit Winterungen überwiegen und schwere, tonhaltige Böden vorherrschen. Die Landwirte bevorzugen deshalb frühe Aussattermine und haben große Probleme, das für eine gute Wirkung der Bodenherbizide erforderliche feinkrümelige Saatbeet zu bereiten. Auf vielen Flächen ist zudem wegen der Hangneigung der Pflugeinsatz oft nicht möglich. Der Handlungsspielraum im pflanzenbaulichen Bereich ist somit eingeschränkt. Deshalb kommen bei der Bekämpfung des Acker-Fuchsschwanzes neben dem optimierten Herbizideinsatz in den Getreidekulturen der Auswahl von Herbiziden aus anderen Wirkstoffgruppen in den weiteren Fruchtfolgegliedern, z.B. Propyzamid in Winterraps, und der Stoppelbehandlung mit Glyphosat- haltigen Pflanzenschutzmitteln eine große Bedeutung zu.

### **Danksagung**

Wir danken Frau Cathrin Reichert vom Fachgebiet Herbologie der Universität Hohenheim für die Durchführung der Resistenzversuche und den Pflanzenproduktionsberatern der unteren Landwirtschaftsbehörden für die Auswahl der Versuchsflächen und die Durchführung der Feldversuche.

## **Literatur**

- GERHARDS, R., 2009 UND 2010: GEMEINSCHAFTSVERSUCHE BADEN-WÜRTTEMBERG, BERICHTE AUS DEM FACHGEBIET HERBOLOGIE DER UNIVERSITÄT HOHENHEIM, HEFT 49, 41-59 UND HEFT 50, 31-50. GERHARDS, STUTTGART.
- REITZ, T., 2008 - 2010: PFLANZENPRODUKTION, LANDESVERSUCHE, PFLANZENSCHUTZ IM ACKERBAU, VERSUCHSERGEBNISSE, 2008, 7-39, 2009, 7-42, 2010, 24-71. LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM AUGUSTENBERG, KARLSRUHE.



## Modelling the development of herbicide resistance

Modellierung der Entwicklung von Herbizidresistenz

Janin Rummland<sup>1\*</sup>, Dirk Kerlen<sup>2</sup>, Henning Nordmeyer<sup>3</sup> & Otto Richter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical University of Braunschweig, Institute of Geoecology, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig, Germany

<sup>2</sup>Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Str. 4a, 40764 Langenfeld, Germany

<sup>3</sup>Julius Kühn-Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Plant Protection in Field Crops and Grassland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany

\*Corresponding author, j.rummland@tu-braunschweig.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.017

### Summary

A population dynamic and genetic model was used to simulate the genetic evolution in an *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. population. The basis of the model is a life cycle of an annual weed population which is divided into five development stages. These are the seed bank, the seedlings, young plants, the seed producing plants and the produced seeds. The stages are linked through transition probabilities. The interaction between resistant and susceptible genotypes is mediated by a genetic submodel. The model supports the development of management strategies to prevent, reduce or at least retard the development of resistance. Through an embedment into a cellular automaton the dispersal of genetic information is simulated at field scale. Three simulations with different herbicide treatments are compared regarding the resistance evolution.

**Keywords:** *Apera spica-venti*, cellular automaton, evolution, genetic model, population dynamics, resistance management

### Zusammenfassung

Ein populationsdynamisches und genetisches Modell wurden verwendet um die genetische Entwicklung in einer *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. Population zu simulieren. Die Grundlage des Modells ist der Lebenszyklus einer einjährigen Ungraspopulation, welche in fünf Entwicklungsstufen unterteilt ist. Diese sind die Samenbank, die Keimlinge, die Jungpflanzen, die samenbildenden Pflanzen und die gebildeten Samen. Die Stufen sind über Übergangswahrscheinlichkeiten verbunden. Die Interaktion zwischen resistenten und sensitiven Genotypen wird durch ein genetisches Submodell vermittelt. Das Modell unterstützt die Entwicklung von Managementstrategien, um die Entwicklung von Resistenzen zu verhindern, rückgängig zu machen oder wenigstens zu verlangsamen. Durch die Einbindung in einen Zellularen Automaten wird die Ausbreitung der genetischen Information simuliert. Drei Simulationen mit unterschiedlichen Herbizidanwendungen werden bezüglich der Resistenzentwicklung verglichen.

**Stichwörter:** *Apera spica-venti*, Evolution, genetisches Modell, Populationsdynamik, Resistenzmanagement, Zellularer Automat

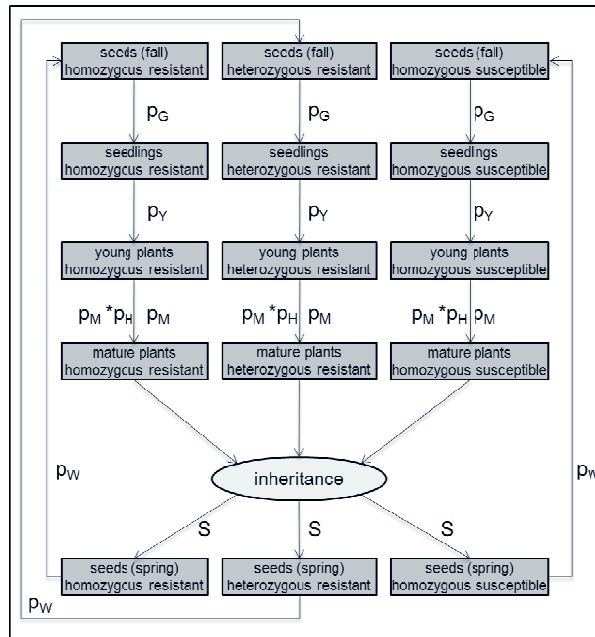
### 1. Introduction

*Apera spica-venti* is a major weed in winter cereals in Germany. The number of resistant biotypes is increasing and it is necessary to analyze the development of resistance to find ways to decelerate, stop, avert or perhaps reverse this development. To test management strategies field trials are not always accomplishable due to a long time span of the resistance evolution and the expensiveness of such trials. Mathematical models can help to give an insight in the evolution of herbicide resistance. Different strategies can be tested and evaluated in a short time. A number of models are published. Some are concerned with the general herbicide resistance evolution (MAXWELL et al., 1990; RICHTER et al., 2002; RENTON et al., 2011) others are specified on specific species (VORPAHL and MÖWS, 2007; SANDT et al., 2008). In this paper, a population dynamic and genetic model was used to simulate the genetic evolution in an *Apera spica-venti* population. Scenarios were simulated to show the effects of different herbicide treatments on the resistance evolution.

## 2. Materials and method

### 2.1 Model framework

The used model is based on already existing model approaches (RICHTER et al., 2002; DUNKER, 2002; VORPAHL and MÖWS, 2007; SANDT et al., 2008). The life cycle of *Apera spica-venti* was divided into five stages. These are seeds in the seed bank (S), seedlings (SE), young plants (Y), mature plants (M) and new seeds (Snew). The life cycle stages are linked via transition probabilities. Furthermore, the *Apera spica-venti* population was divided in homozygous resistant plants (AA), heterozygous resistant plants (Aa) and homozygous susceptible plants (aa). These genotypes are linked through the inheritance. The life cycle graph is pictured in Figure 1.



**Fig. 1** Life cycle of *Apera spica-venti*.

**Abb. 1** Lebenszyklus von *Apera spica-venti*.

The simulation starts with seeds in the seed bank (S) which are germinating with the probability  $p_G$ .

$$SE = p_G \cdot S$$

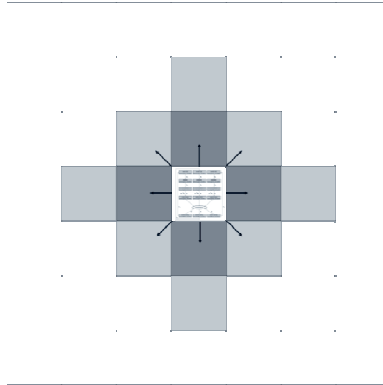
The development of seedlings (SE) to young plants (Y) occurs with the probability  $p_Y$  and this step is density dependent. The young plants have a survival probability  $p_M$  to develop to mature plants. The herbicide application occurs at this stage, so that the survival is also affected by the efficacy of the herbicide ( $p_H$ ). Hereby  $p_H$  is different for the three genotypes.

$$M = Y \cdot p_M \cdot p_H$$

The life cycle steps above occur independently for each genotype. The proportion of the three genotypes in the new generated seeds is derived from the Hardy-Weinberg equation. The seed production (Snew) is influenced by the density of the mature weed plants (M) and the crop density (C). The density-dependent seed production was defined by RICHTER et al. (2002) and DUNKER (2002). To simulate the spatial distribution of the seeds, a cellular automaton was used. The cellular automaton consists of a grid with the cell sizes of 1 x 1 m and a total size of 72 x 32 m. In each of these cells the population dynamic is simulated. The major portion of the new generated seeds will remain in the cell but a small amount of the seeds will be distributed into the neighboring cells. This is



modeled by using the Gaussian distribution. The distribution from one cell into the neighboring cells is shown in Figure 2. A 'von Neumann neighborhood relation' with the range of two was used. The new seeds and the old seeds, which have not germinated in autumn, will survive with the probability  $p_w$  and a new cycle begins.



**Fig. 2** Cellular automaton and the distribution of seeds in the neighboring cells.

**Abb. 2** Zellularer Automat und die Verbreitung der Samen in die Nachbarzellen.

## 2.2 Simulated Scenarios

Three scenarios with different efficacies of herbicides against resistant and susceptible plants were simulated. All scenarios began with randomly distributed seeds in the cellular automaton. The major part of the seeds were homozygous susceptible, only a few were heterozygous resistant and none of them were homozygous resistant. The simulation runs over 25 years.

In the first scenario, the same herbicide is used over the whole simulation period with an efficacy of 5 % on the resistant plants and 95 % on the susceptible plants.

In scenario two, an efficacy of 5 % on the resistant plants and 95 % on the susceptible plants was assumed for the first five years and after that an alteration with a herbicide with 98 % efficacy on all three genotypes started.

Scenario three also begins with the herbicide with the efficacy of 5 % on the resistant plants and 95 % on the susceptible plants for the first ten years. Then a herbicide was used with an assumed efficacy of 98 % on all three genotypes for five years and after that the same herbicide from the beginning was used again until the end of the simulation.

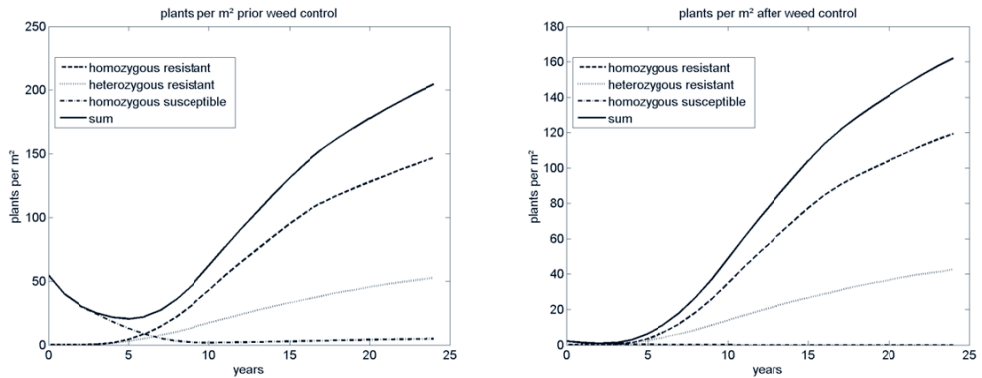
## 3. Results

### 3.1 Scenario Simulation

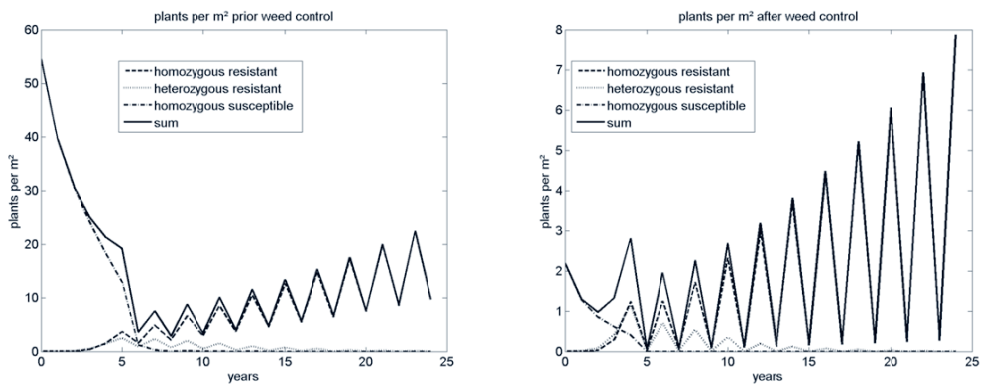
Figures 3, 4 and 5 show the results of the three model runs. Pictured are the plants per  $m^2$  prior and after the herbicide application. In the first scenario, the plant density is declining in the first five years due to the high efficiency of the herbicide on the susceptible plants, which have a great proportion of the population in the beginning of the simulation. With the years the number of resistant plants is slowly increasing and this is leading to a rising total plant density after five years. Over the years the density of susceptible plants is steadily at a very low level and the number of heterozygous and homozygous plants is increasing.

The second scenario shows a declining plant density in the first five years, but an increasing number of resistant plants. A resistant population is building up. In the sixth year the entire number of plants is minimized. In the seventh year a selection of the resistant plants takes place. The alternation of the herbicides goes on with minimizing the whole population in one year and selecting the resistant plants in the next year. The proportion of the susceptible allele is more and more decreasing over the

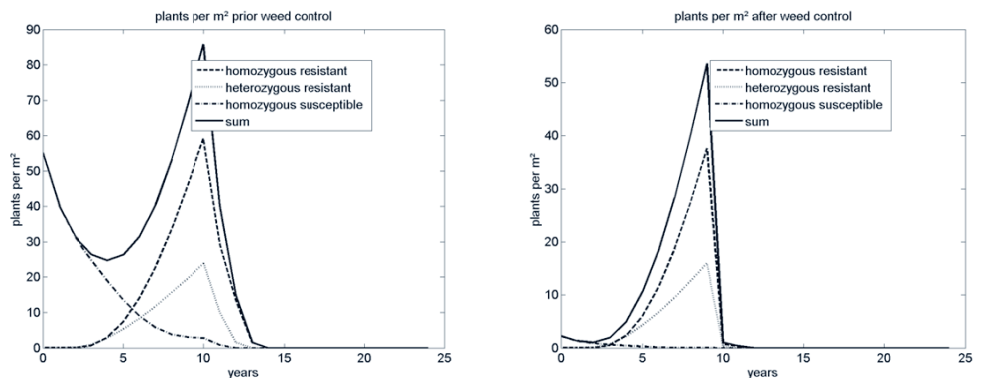
years until it is not present in the population anymore. In the end the population only exists of homozygous resistant plants and the plant density is steadily increasing over time.



**Fig. 3** First scenario: use of the same herbicide over 25 years.  
**Abb. 3** Erstes Szenario: Behandlung mit dem gleichen Herbizid für 25 Jahre.



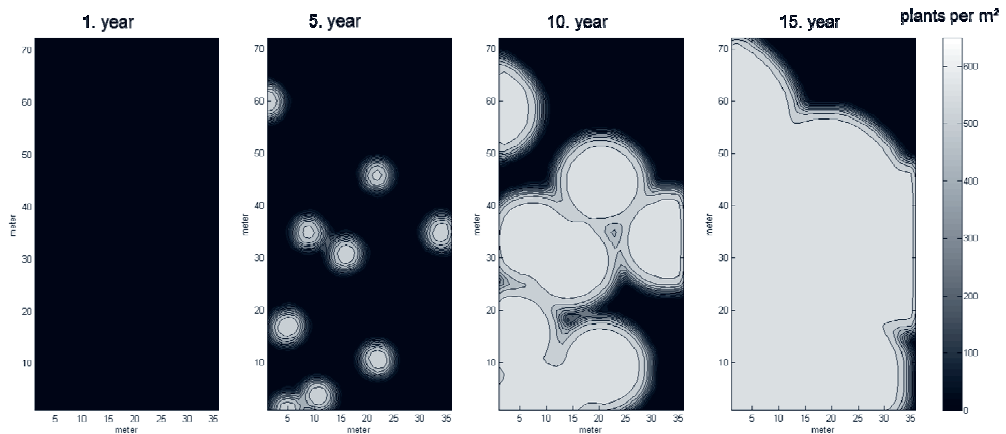
**Fig. 4** Second scenario: alternation of two herbicides.  
**Abb. 4** Zweites Szenario: Wechsel von zwei Herbiziden.



**Fig. 5** Third scenario: herbicide change after 10 and 15 years.  
**Abb. 5** Drittes Szenario: Wechsel des Herbizids nach 10 und 15 Jahren.

In the third scenario the resistant plants are selected by the herbicide in the first ten years causing their numbers to rise. The susceptible plants are controlled by the herbicide and thus the density is declining. In the beginning the population consisting of a greater number of susceptible plants causing the overall density to decrease due to the good control. The density of resistant plants is steadily increasing over the years and causing the overall density to increase from the fifth year on. The simulation of herbicide use with the efficacy of 98% on all three genotypes causes a steep decrease of the plant density. Switching to the herbicide from the beginning after five years shows no increase in plant density.

Figure 6 shows the spatial distribution of the resistant plants from the calculations of scenario one. The resistant plants are spreading out across the field. After five years some local spots with high densities of resistant plants appear. After a longer simulation time it is seen that this spots are expanding and merging into each other. Simulations with other assumptions of herbicide use would lead to other developments of the spatial distributions of resistant plants.



**Fig. 6** Distribution of resistant plants from scenario one for the time steps first, fifth, tenth and fifteenth year.

**Abb. 6** Ausbreitung der resistenten Pflanzen vom ersten Szenario für die Zeitschritte erstes, fünftes, zehntes und fünfzehntes Jahr.

#### 4. Discussion

The presented model offers the potential to predict the spatial and temporal dynamics of the resistant *Apera spica-venti* distribution regarding different herbicide strategies. The model showed that varying herbicide strategies causing an in- or decrease of resistant plants. Computer models can be a useful tool to estimate the effects of anti-resistant managements. Long-term effects of an annual or perennial herbicide treatment can be evaluated and if necessary countermeasures can be taken. The simulation results can only be seen as the basis for modeling the development of herbicide resistance, the model is only consisting of the life cycle and the genetics with the use of one or two herbicides. Extensions are required to simulate crop rotation or tillage. Furthermore the model is only capable of simulating target-site resistance. The next step should be an extension of the model combining it with a metabolic resistance model to achieve even more realistic resistance evolution.

#### Acknowledgements

The authors wish to thank our partners of BAYER Crop Science for financial support.

#### References

AAMISEPP, A. AND K. AVHOLM, 1970: *APERASpICA-VENTI* IN SWEDEN: OCCURRENCE, BIOLOGY AND CONTROL. IN: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE, WEEDS - 1970, PP. 50-55. ARC WEED RESEARCH ORGANIZATION, OXFORD.

- ANDERSSON, L. AND E. ÅKERBLUM, 2009: VARIATION IN SEED DORMANCY AND LIGHT SENSITIVITY IN *ALOPECURUS MYOSUROIDES* AND *APERAS SPICA-VENTI*. WEED RESEARCH **49**, 261-270.
- DUNKER, M., 2002: ERFASSUNG UND MODELLIERUNG DER KLEINRÄUMIGEN UNKRAUTVERTEILUNG AUF ACKERFLÄCHEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BODENVARIABILITÄT. DISSERTATION, INST. FÜR GEOGRAPHIE UND GEOÖKOLOGIE, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG.
- HAGEMEISTER, H. UND R. HEITFUSS, 1988: EIN BEITRAG ZUR POPULATIONSDYNAMIK UND SAMENBILDUNG VON WINDHALM, *APERAS SPICA-VENTI*. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ, 83-89.
- MAXWELL, B.D., M.L. ROUSH AND S.R. RADOSEVICH, 1990: PREDICTING THE EVOLUTION AND DYNAMICS OF HERBICIDE RESISTANCE IN WEED POPULATIONS. WEED TECHNOLOGY **4**, 2-13.
- MELANDER, M., N. HOLST, P.K. JENSEN, E.M. HANSEN AND J.E. OLESEN, 2008: *APERAS SPICA-VENTI* POPULATION DYNAMICS AND IMPACT ON CROP YIELD AS AFFECTED BY TILLAGE, CROP ROTATION, LOCATION AND HERBICIDE PROGRAMMES. WEED RESEARCH **48**, 48-57.
- NORTHAM, F.E. AND R.H. CALLIHAM, 1992: THE WINDGRASSES (*APERAS ADANS.* POACEAE) IN NORTH AMERICA. WEED TECHNOLOGY **6**, 445-450.
- PETERSEN, A. AND G. WACKER, 1992: DIE GRÄSER ALS KULTURPFLANZEN UND UNKRÄUTER AUF WIESE, WEIDE UND ACKER. IHRE BESTIMMUNG, ERKENNUNG UND BESCHREIBUNG IN BIOLOGISCHER, ÖKOLOGISCHER SOWIE LANDWIRTSCHAFTLICHER UND LANDESKULTURELLER BEZIEHUNG, 7TH EDITION. AKAD.-VERL., BERLIN.
- RENTON, M., A. DIGGLE, S. MANALIL UND S. POWLES, 2011: DOES CUTTING HERBICIDE RATES THREATEN THE SUSTAINABILITY OF WEED MANAGEMENT IN CROPPING SYSTEMS? JOURNAL OF THEORETICAL BIOLOGY **283**, 14-27.
- RICHTER, O., P. ZWARGER AND U. BÖTTCHER, 2002: MODELLING SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF HERBICIDE RESISTANCE. WEED RESEARCH **42**, 52-64.
- SANDT, N., O. RICHTER AND H. NORDMEYER, 2008: EIN RAUM-ZEITLICHES MODELL ZUR SIMULATION DER POPULATIONSDYNAMIK VON UNKRÄUTERN IM HINBLICK AUF IHRE ANWENDUNG FÜR DIE ENTWICKLUNG UMWELTSCHONENDER BEKÄMPFUNGSTRATEGIEN. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 203-208.
- VORPAHL, P. AND R. MÖWS, 2007: MODELLIERUNG DER UNKRAUTPOPULATIONSDYNAMIK (*APERAS SPICA-VENTI*) ALS ENTSCHEIDUNGSHILFE FÜR DIE HERBIZIDAPPLIKATION BEI TEILSCHLAGSPEZIFISCHER BEWIRTSCHAFTUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON BODENPARAMETERN. MODELLING OF THE POPULATION DYNAMICS (*APERAS SPICA-VENTI*) AS A DECISION AID FOR THE HERBICIDE APPLICATION WITHIN PRECISION FARMING WITH RESPECT TO SOIL PARAMETERS. ELEKTRONISCHE ZEITSCHRIFT FÜR AGRARINFORMATIK **2**.
- WALLGREN, B. AND K. AVHOLM, 1978: DORMANCY AND GERMINATION OF *APERAS SPICA-VENTI* L. AND *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. SEEDS. SWEDISH JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH **8**, 11-15.
- WARWICK, S.J., L.D. BLACK AND B.F. ZILKEY, 1985: BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS. CANADIAN JOURNAL OF PLANT SCIENCE **65**, 711-721.

## Einsatz der dCAPS-Technologie zur Differenzierung von Trp574-Leu und Ser653-Asn in Blattproben von Raps und Clearfield®-Raps

*The utilization of the dCAPS technology to discriminate Trp574-Leu and Ser653-Asn in leaf samples of Clearfield® oilseed rape and conventional oilseed rape*

Alexander Proges<sup>1</sup>, Hans-Jörg Jacobsen<sup>1</sup> & Jean Wagner<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Institut für Pflanzengenetik, Herrenhäuser Str. 2, D-30419 Hannover

<sup>2</sup>Plantalyt GmbH, Vahrenwalder Straße 269 A, D-30179 Hannover

\*Korrespondierender Autor, jean.wagner@plantalyt.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.018

### Zusammenfassung

Bei Clearfield®-Raps (*Brassica napus* L.) handelt es sich um Rapsorten, in denen eine Unkrautbekämpfung mit Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren möglich ist. Zwei Allele der ALS (Acetolactat-Synthase), die eine Target-Site Resistance (wirktorspezifische Resistenz, bzw. Toleranz) bewirken, sind in zwei der fünf ALS-Gene des Raps eingekreuzt. Der Clearfield®-Raps differenziert sich vom konventionellen Raps durch die Aminosäure Asparagin an Stelle von Serin im Kodon 653 des ALS I Gens und bewirkt eine erhöhte Toleranz speziell gegen Herbizide aus der Gruppe der Imidazolinone. Das Allel von ALS III differenziert sich durch die Aminosäure Leucin an Stelle von Tryptophan im Kodon 574 und bewirkt eine Toleranz hauptsächlich gegen Imidazolinone, Sulfonylharnstoffe und Triazolopyrimidine (gruppenübergreifende Toleranz). Letzteres ist für eine erschwerte Bekämpfung von Clearfield®-Raps als Ausfallraps mit Sulfonylharnstoffen und Triazolopyrimidinen z.B. in Getreide verantwortlich. In dieser Arbeit wird ein Test vorgestellt, der eine Allel-Diskriminierung mittels der dCAPS-Technologie (derived cleaved amplified polymorphic sequence) ermöglicht. So lässt sich ein Clearfield®-Raps von einem konventionellen Raps an Blättern und anderen Pflanzenteilen mittel Molekulargenetik differenzieren. Durch eine Kombination von PCR und der Behandlung der PCR-Produkte durch spezifische Restriktionsendonukleasen werden die Resistenz-Allele auf dem ALS I (nach Behandlung mit *MnlI*) und ALS III (nach Behandlung mit *NcoI*) mittels Gelelektrophorese nachgewiesen. Für den Nachweis einer Minderwirkung von Sulfonylharnstoffen gegen Ausfallraps reicht oft die Identifizierung von Leu574 aus. Um sicher zu gehen und einen Clearfield®-Raps von natürlich auftretenden Raps-Varianten mit einer Resistenz zu unterscheiden sollte immer auch ein Nachweis von Asn653 durchgeführt werden. Die hier dargestellte Technik setzt keine spezielle Laboreinrichtung voraus und lässt sich mit molekulargenetischen Grundkenntnissen etablieren. So können landwirtschaftliche Einrichtungen flexibel auf einen Nachweisbedarf von Clearfield®-Raps in der Praxis reagieren.

**Stichwörter:** Ausfallraps, Auskreuzung, Clearfield®, dCAPS, Herbizidtoleranz, Imidazolinone, Leu574, Ser, SNPs, Sulfonylharnstoffe, Triazolopyrimidine, Unkrautbekämpfung

### Summary

Clearfield® rape (*Brassica napus* L.) derives from classical breeding methods and makes weed control with ALS-inhibiting herbicides in oilseed rape possible. Two alleles of the ALS (acetolactate synthase), which are responsible for target site resistance (or tolerance, respectively), were crossed into two of the five ALS genes of oilseed rape. The allele of Clearfield® oilseed rape in ALS I is different from other ALS alleles by an exchange of the amino acid serine by asparagine in the codon 653 and is responsible for tolerance to imidazolinones. The allele in ALS III differs by an exchange of tryptophan to leucine in the codon 574 and causes a broad tolerance to imidazolinones, sulfonylureas, and triazolopyrimidines. The latter allele hinders mainly the control of volunteer Clearfield® oilseed rape with sulfonylureas and triazolopyrimidines e.g. in cereals. To decipher the alleles in Clearfield® oilseed rape and conventional oilseed rape a test based on the dCAPS (derived cleaved amplified polymorphic sequence) technology was developed and is presented here. With this test a Clearfield® oilseed rape can be discriminated in leaf samples or other parts of plants from conventional oilseed rape.

A combination of PCR and digestion with restriction endonucleases is used to discriminate the alleles of ALS I (after incubation of PCR-products with *MnlI*) and of ALS III (after incubation of PCR-products with *NcoI*). The identification of Leu574 is in most cases probably sufficient for proving reduced efficacy of sulfonylureas and triazolopyrimidines. To come to a clear identification and to discriminate Clearfield® oilseed rape from natural occurring target-site resistant oilseed rape both alleles should be analysed in samples. The dCAPS technology does not require special lab equipment and can be performed with the basic equipment of every molecular

biological working lab. With the herein presented protocol the agricultural consulting and research facilities can react flexible on the need to prove Clearfield® oilseed rape variations from conventional oilseed rape in practice.

**Keywords:** dCAPS, herbicide tolerance, imidazolinone, outcrossing, single nucleotide polymorphism, sulfonyleureas, triazolopyrimidines, volunteer rape, weed control

## 1. Einleitung

Das Clearfield®-System ist ein von der Firma BASF in Zusammenarbeit mit Züchtungsunternehmen entwickeltes System zur Unkrautbekämpfung in verschiedenen Kulturen. Durch Einführung von Allelen der natürlich auftretenden wirkortspezifischen Herbizidresistenz (Herbicide Target-Site Resistance) bzw. Toleranz (bei Kulturpflanzen) wird mittels konventioneller Züchtung eine Selektivität gegenüber Imidazolinonen und – in unterschiedlicher Ausprägung – weiteren ALS-Inhibitoren, die zu den Sulfonylharnstoffen und Triazolopyrimidinen gehören, ermöglicht (TAN et al., 2005). Im Clearfield®-Raps kann so als Komplementärherbizid das Imazamox (ein Imidazolinon) zur Erweiterung der Bekämpfungsmöglichkeiten eingesetzt werden (PFERDMENGES et al., 2010).

Die Imidazolinone blockieren ähnlich wie die Sulfonylharnstoffe, die Triazolopyrimidine und die Sulfonylaminocarbonyltriazolone das Enzym ALS (Acetolactat-Synthase), das die erste Reaktion des Syntheseweges der Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin katalysiert (SINGH und SHANER, 1995). In allen Pflanzen wird mindestens ein ALS-Enzym konstitutiv exprimiert, wobei die Intensität in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Pflanze und der Gewebeart variiert. Der allo-tetraploide Raps (*Brassica napus* L.) besitzt wahrscheinlich die komplexeste Genfamilie mit fünf ALS Genen, von denen zwei Gene, ALS I und ALS III konstitutiv exprimiert werden und für den Stoffwechsel entscheidend sind (OUELLET et al., 1992). Die höchste Aktivität findet sich in meristematischem Gewebe (SCHMITT und SINGH, 1990). Eine Hemmung der ALS-Aktivität führt wenige Tage nach Applikation der Herbizide zu einem Wachstumsstillstand der Pflanzen und zu einer irreversiblen „Entgleisung“ des Stoffwechsels, die über zwei bis drei Wochen zum Tod der Pflanzen führt.

Von den pflanzlichen ALS-Genen sind verschiedene Varianten bekannt, die sich durch Punktmutationen oder so genannten SNPs (Single Nucleotide Polymorphisms) unterscheiden und weniger intensiv oder nahezu gar nicht durch herbizide Wirkstoffe gehemmt werden. Sie spielen weltweit bei der Evolution der Herbizidresistenz eine wichtige Rolle. So werden z.B. in Weidelgräsern (*Lolium* spp. L.), Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und Windhalm (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) Varianten der ALS-Gene gefunden, in denen durch den Austausch einer Base im Kodon von Prolin (Pro197) die Aminosäure Threonin (Thr) kodiert und in die ALS eingebaut wird (DÉLYE und BOUCANSAUD, 2008; DÉLYE et al., 2009; KRYSIAK et al., 2009). Der Austausch führt zu Resistenzen gegen Sulfonylharnstoffe und Triazolopyrimidine, deren Ausprägung neben dem Wirkstoff von der Frequenz der Genotypen in der Population abhängt. Eine Resistenz gegen Imazamox besteht bei einer ALS mit Thr197 wahrscheinlich nicht, was sich aus Untersuchungen verschiedener Unkrautarten wie dem Hederich (*Raphanus raphanistrum* L.) mit gleicher Resistenzursache ableiten lässt (z.B. YU et al., 2003).

Eine andere wichtige Variante, die weltweit am häufigsten in Unkräutern mit einer Target-Site Resistanz gegen ALS-Inhibitoren nachgewiesen wird, ist der Austausch von Tryptophan (Trp574) gegen Leucin. Diese Variante vermittelt eine hohe Ausprägung von Resistenz gegen alle bekannten ALS-Inhibitoren, also auch gegen Imazamox, und ist auch bei den genannten Gräsern verbreitet (DÉLYE und BOUCANSAUD, J., 2008). Bei dieser Target-Site Resistenz findet sich eine Überschneidung zwischen der Evolution von Herbizidresistenz in Unkräutern auf der einen und der Toleranz im Clearfield®-Raps auf der anderen Seite. Im Clearfield®-Raps ist eine Variante der ALS III mit Leu574 eingekreuzt. Diese ALS ist tolerant gegen Imazamox und in unterschiedlicher Intensität gegen Sulfonylharnstoffe und Triazolopyrimidine. Die Verbreitung dieser Target-site Resistenz in Gräsern und die Möglichkeit einer Selektion durch das Imazamox im Fruchtwechsel sollte in zukünftigen Untersuchungen berücksichtigt werden.

Der Clearfield®-Raps hat neben der Leu574 Variante des ALS III zusätzlich eine Variante des ALS I. Bei dieser Variante wird das Serin (Ser653) gegen Asparagin (Asn) ausgetauscht. Sie vermittelt eine

Toleranz gegen Imidazolinole und – mit geringerer Intensität – gegen die Sulfonylharnstoffe und Triazolopyrimidine. Eine sichere Ausprägung der Toleranz im Clearfield®-Raps erfolgt dann, wenn Leu574 und Asn653 homozygot vorliegen.

Verschiedene Testverfahren zum Nachweis einer Target-Site Resistenz in Unkräutern sind etabliert (siehe Übersichtsartikel CORBETT und TARDIF, 2006). In Analogie zum Nachweis einer Target-site Resistenz in Unkräutern wurden in dieser Arbeit zwei Assays auf der Basis der dCAPS (Derived Cleaved Amplified Polymorphic Sequences, NEFF et al., 2010) zur Identifizierung der Trp574 und Leu574 Varianten auf dem ALS Gen III auf der Einen und der Ser653 und Asn653 Varianten auf dem ALS Gen I auf der anderen Seite entwickelt. KAUNDUN und WINDASS (2006) nutzen diese Technologie erstmals zum Nachweis von Herbizidresistenz in Unkräutern.

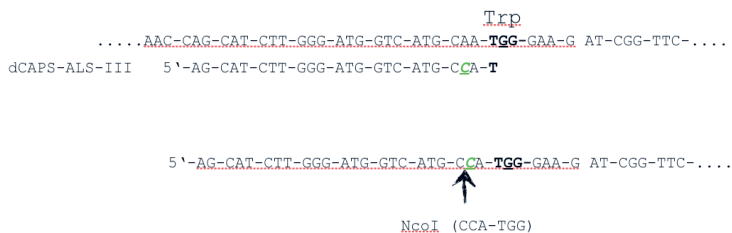
## 2. Material und Methoden

### 2.1 Entwicklung der Assays auf Basis der dCAPS (Derived Cleaved Amplified Polymorphic Sequences)

**Prinzip:** Das Prinzip der dCAPS ist der Einbau einer Falschbase durch einen der beiden PCR-Primer (dCAPS-Primer) in das PCR-Produkt. Das PCR-Produkt selber enthält die genetische Information eines Individuums. Nun ist der dCAPS-Primer, der die Falschbase einbaut, so gelegt, dass er vor dem SNP (Single Nucleotide Polymorphism oder Mutationsstelle, der Punkt, an dem das Kodon verändert wird) liegt. Zusammen mit der Mutationsstelle generiert der Primer durch den Einbau der Fehlbase im PCR-Produkt eine Schnittstelle, die spezifisch für eine Restriktionsendonuklease ist. Ein Schnitt (=Verkürzung) des PCR-Produktes belegt dann, dass das erwartete Allel vorliegt. Verändert eine genetische Abweichung die Erkennungssequenz der Restriktionsendonuklease, wird das Fragment nicht geschnitten (Abb. 1 und 2). Im hier vorgestellten Beispiel wird bei Vorliegen der genetischen Information für Trp574 das PCR-Fragment geschnitten (Verkürzung des PCR-Produktes). Liegt eine Leu574-Variante vor (was der genetischen Konstellation im Clearfield®-Raps entspricht), dann unterbleibt der Schnitt durch *NcoI*. Mit diesem System lassen sich nach Gelelektrophorese die verschiedenen Allele nachweisen. Als Ergebnis erhält man eine binäre Information (Schnitt ja/nein), die – zurückgeführt auf das hinterlegte Design – einen Rückschluss auf die genetische Konstellation zulässt.

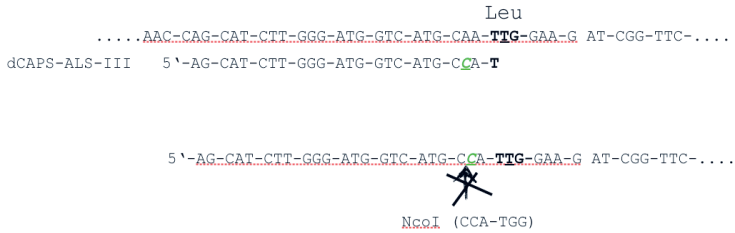
**Genetische Information und Software:** Als Basis für die Assays dienen die genetischen Informationen des ALS I (Z11524.1) und ALS III (Z11526.1). Für die Entwicklung der Assays wurden Vorschläge der Software dCAPS Finder 2.0 (<http://helix.wustl.edu/dcaps/dcaps.html>) angenommen.

#### Assay-Design am Beispiel der ALS III:



**Abb. 1** Oben: Kodon der Aminosäure Tryptophan (Trp im konventionellen Raps) im Kontext der genetischen Information in der Pflanze, unterstrichen ist der SNP. Direkt darunter der Primer dCAPS-ALS-III mit der Fehlbase, die durch den Primer in das PCR-Produkt eingebaut wird (kursiv und unterstrichen). Unten: 5'-Ende des PCR-Produktes. Darunter in Klammern die Schnittstelle des Enzyms *NcoI*. Der Pfeil zeigt die Schnittstelle durch *NcoI*. Das PCR Produkt wird nach dem Schnitt um 21 Basen kürzer.

**Fig. 1** Above: Codon of Tryptophan (Trp in oilseed rape) in the context of the genetic information in the plant. The SNP is underlined. Primer dCAPS-ALS-III has one mismatches in its sequence (in italic and bold), which is incorporated into the PCR fragment. Below: The 5'-end of the PCR product. Below in brackets the cutting site of the restriction endonuclease *NcoI*. The arrow shows the position of cutting in the DNA strand. After cutting the PCR product is about 21 base pairs shorter.



**Abb. 2** Erklärung wie in Abbildung 1. Unterschied: Das Kodon, das für Leucin (Leu, Clearfield®-Raps) kodiert, zerstört durch den Ersatz von G durch T die Erkennungssequenz CCA-TGG des Enzyms *NcoI*. Das PCR-Produkt wird nicht geschnitten und behält seine ursprüngliche Länge.

**Fig. 2** Use Explanation like in Figure 1. The difference: The Codon of Leucine (Leu in Clearfield® rape) in destroying through the exchange of G by T the recognition site of the endorestriction enzym *NcoI* (CCA-TGG). The fragment is not cut and retains its length.

## 2.2 DNA-Extraktion aus Blattmaterial

Aus Blattproben von Clearfield®-Raps und konventionellem Raps wurden DNA-Rohextrakte hergestellt. Dafür wurden ca. 0,5 cm<sup>2</sup> (ca. 5-10 mg) frisches Blattmaterial entnommen und in einem 2 ml Polypropylen Reaktionsgefäß zusammen mit 400 µl Extraktionspuffer (100 mM Tris, 1 M KCl, 10 mM EDTA, pH 7,6) und einer Edelstahlkugel von 5 mm Durchmesser in einer Kugelmühle (Retsch MM400) für zwei Minuten bei 30 Hz aufgeschlossen. Das so entstandene Homogenat wurde anschließend mit einer Laborzentrifuge (Heraeus Biofuge pico) bei 16060 g für zwei Minuten zentrifugiert. Vom Überstand wurden 25 µl in ein neues Reaktionsgefäß überführt. Die Frischextrakte wurden im Verhältnis 1:65 mit H<sub>2</sub>O<sub>dest.</sub> verdünnt und bis zur weiteren Verwendung bei -18 °C gelagert. Bei guter Qualität des Extraktes wurde auf eine weitere Aufreinigung verzichtet. In der Routine ist eine Aufreinigung der DNA mittels verschiedener konventioneller Kits empfehlenswert.

## 2.3 PCR zur Amplifikation der ALS-Gene I und III

ALS I und III von *Brassica napus* zeigen eine große Homologie (> 97 %). Für eine ausreichende Diskriminierung beider ALS-Gene und ihrer Allele wurden zwei PCR-Schritte durchgeführt. Die Primer FwdALS-I und RevALS-I (Tab. 1) wurden eingesetzt, um ein Fragment der ALS I zu amplifizieren, das die Information für Trp574 und Ser/Asn653 enthält. Für die Amplifikation von Fragmenten der ALS III mit der Information Trp/Leu574 und Ser653 wurden die Primer FwdALS-III und RevALS-III eingesetzt (Tab. 1). In beiden Fällen wurde ein Fragment von 610 bp amplifiziert. Die PCR wurde in einem Volumen von 25 µl durchgeführt. Die Konzentration der Primer betrug 0,4 µM (jeweils), die dNTPs wurden mit einer Konzentration von 0,4 mM (jeweils) und die DNA Polymerase (GoTaq® Flexi DNA Polymerase Kit) wurde mit 0,04 U/µl in 5 µl Puffer mit 2,5 mM MgCl angesetzt. Als DANN-Template wurden 5 µl des verdünnten Rohextraktes eingesetzt. Die Reaktion wurde in einem Thermocycler (Biometra) mit folgendem Programm gefahren: Denaturierung bei 94 °C für 5 Minuten, 40 Zyklen (Denaturierung: 94 °C, 30 Sekunden, Annealing: 55 °C, 30 Sekunden und Elongation bei 72 °C für 60 Sekunden). Als abschließender Schritt erfolgte eine Elongation bei 72 °C für 10 Minuten. Die PCR-Produkte wurden bis zur weiteren Verwendung bei 4 °C gelagert.

**Tab. 1** Primer für die Amplifikation von Fragmenten der Gene ALS I und ALS III.

**Tab. 1** Primers used to amplify fragments of the genes ALS I and ALS III.

Name	Sequenz (5'-3')	Zielgen	Fragmentlänge	Annealingtemp.
FwdALS-I	cctcgagctatgggtttt	ALS I	610 bp	55 °C
RevALS-I	agcgagtacgtctggaaca			
FwdALS-III	gactcggagctatgggtttc	ALS III	610 bp	55 °C
RevALS-III	agcgagtaagtctggaaca			



## 2.4 Identifikation der Allele Trp574 und Leu574 des Gens ALS III

Die PCR-Produkte der PCR wie unter 2.2 beschrieben wurden als Template für die PCR mit den dCAPS-Primern verwendet, um einen unspezifischen Verlauf der Reaktionen und damit die Produktion von Nebenprodukten durch die dCAPS-Primer zu minimieren. Für den Nachweis Ser653 vs. Asn653 im ALS I wurde die Primerkombination For-ALS-I-nested und dCAPS-ALS-I verwendet (Tab. 2). Die PCR wurde wie unter 2.2 beschrieben angesetzt. Als DNA-Template wurde 0,1 µl PCR Produkt (FwdALS-I/RevALS-I) verwendet. Für den Nachweis Trp574 vs. Leu574 im ALS III wurde die Primerkombination dCAPS-ALS-III und RevALS-III verwendet (Tab. 2). Als DNA-Template wurde 0,1 µl PCR Produkt (FwdALS-III/RevALS-III) verwendet. Die Produkte wurden bis zum Restriktionsverdau bei 4 °C gelagert. Für den Restriktionsverdau der PCR-Produkte wurden Fast Digest® Kits von Fermentas eingesetzt. Die Mengenverhältnisse der Reagenzien und PCR-Fragmente entsprachen den Angaben des Herstellers. Die Inkubationszeiten wurden jedoch bis auf 90 min heraufgesetzt, um ein möglichst vollständiges Schneiden zu erreichen. Im Anschluss an die Inkubation mit Restriktionsendonukleasen wurde vom Ansatz ein Aliquot von 10 µl auf ein 3 %iges (w/v) Agarose-Gel aufgetragen. Die Elektrophorese wurde bei 8 V/cm durchgeführt. Den Gelen wurde ein Farbstoff zugegeben (10 µl einer 0,01 % Serva-G-Stain) und die DNA bei ca. 300 nm detektiert.

**Tab. 2** Primer, dCAPS-Primer und Restriktionsendonukleasen. Die Fehlbase, die durch den dCAPS-Primer eingebaut wird und eine Schnittstelle mit dem SNP bildet, ist hervorgehoben (Erklärung im Text). Eine Interpretation der Fragmente ist in der letzten Spalte angegeben.

**Tab. 2** *Primers, dCAPS primers and restriction endonucleases. Mismatching bases which are incorporated via the dCAPS-primer are creating a restriction site and are bold and underlined. An interpretation of fragments is given in the last column.*

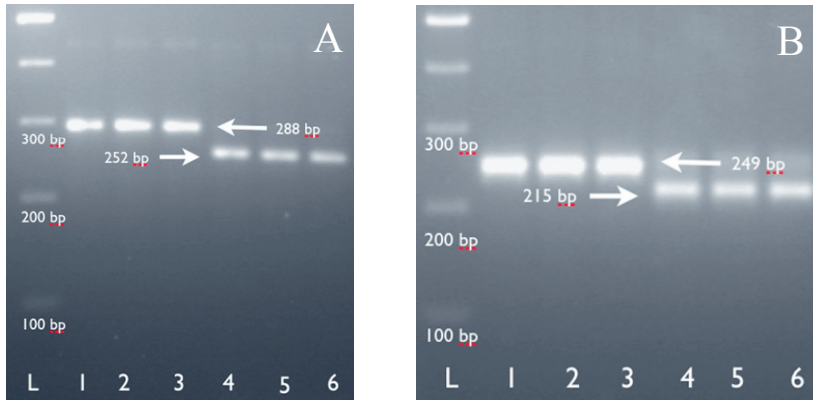
Name	Sequenz (5'-3')	Länge, Annealingtemp.	Endonucleasen (Erk.-Seq.)	Marker
For-ALS-I-nested	CATCTTGGGATGGTCATGCA	288 bp, 55 °C	MnII (CCTC(N)7 <sup>^</sup> )	252 bp, sensitiv, Ser653
dCAPS-ALS-I	TGTTATTACATCTTTGAAAGTCCAC <u><b>CT</b></u>			288 bp, resistent, Asn653
dCAPS-ALS-III	AACAACCAGCATCTTGGGATGGTCATG <u><b>CC</b></u> AT	249 bp, 55 °C	NcoI (CCATGG)	215 bp, sensitiv, Trp574
RevALS-III	TTCTTGGTGCGGACAGATG			249 bp, resistent, Leu574

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Diskriminierung der Allele der ALS mittels dCAPS

Die Amplifikate der Voramplifikation von ALS I und ALS III wurden sequenziert, um sicher zu gehen, dass die PCR-Fragmente die entsprechende Information enthalten. ALS I und ALS III konnten mit der unter 2.2 dargestellten PCR diskriminierend amplifiziert werden. Mit diesen Fragmenten als Template wurden mit den dCAPS-Primern Fragmente generiert, die nach einer Behandlung mit Restriktionsendonukleasen eine Differenzierung der ALS-Varianten möglich machten. In Abbildung 3 sind Fragmente von je drei Blättern Clearfield®-Raps und drei Blättern konventionellem Raps, die nach PCR und Behandlung mit Restriktionsendonukleasen in 3 %igen Agarose-Gel aufgetrennt wurden, abgebildet. Eine Differenzierung von konventionellem Raps und Clearfield®-Raps ist hier leicht möglich. In allen drei Proben liegen die genetischen Informationen homozygot vor, was eine wichtige Voraussetzung für eine ausreichende Selektivität von Clearfield®-Raps ist. Das Nachweisverfahren kann genutzt werden, um zu klären, ob die Ursache einer Minderwirkung bei der Bekämpfung von

Raps in anderen Kulturen auf einen Clearfield®-Raps zurückzuführen ist. Auch bei Verdacht, dass ein Clearfield®-Raps in konventionellen Raps eingekreuzt wurde, ist ein Nachweis möglich. Für den eindeutigen Nachweis einer Variante des Clearfield®-Raps sollte allerdings auch immer der Nachweis von Asn653 auf dem ALS Gen I nachgewiesen werden, da eine natürlich auftretende Mutation selten ist und immer nur ein Gen betrifft. Im Falle einer Auskreuzung lassen sich beide Allele der ALS heterozygot nachweisen.



**Abb. 3** A) Nachweis von Ser653/Asn653, B) Nachweis von Trp574/Leu574. Die Fragmente des Clearfield®-Raps (Spur 1-3) werden nicht geschnitten und behalten ihre Größe (288 bp bzw. 249 bp), während die Fragmente des konventionellen Raps (Spur 4-6) geschnitten werden und das Vorliegen von Ser653 (252 bp) und Trp574 (215 bp) belegen. L = Molekularer Größenmarker.

**Fig. 3** A) Proof of Ser653/Asn653, B) Proof of Trp574/Leu574. The fragments that derive from Clearfield® oilseed rape (lane 1-3) are uncut (they retain their size of 288 bp and 249 bp, respectively), while the fragments of oilseed rape (lane 4-6) are cut and proof the presence of Ser653 (252 bp) and Trp574 (215 bp). L = Molecular weight marker.

Der Vorteil dieses Testverfahrens ist der geringe apparative Aufwand und die leichte Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Eine molekulargenetische Basisausstattung im Labor zur Durchführung einer PCR und zum Nachweis der DNA-Fragmente ist ausreichend und macht den hier erarbeiteten Test vielseitig einsetzbar.

## Literatur

- CORBETT, C.-A. UND F.J. TARDIF, 2006: DETECTION OF RESISTANCE TO ACETOLACTATE SYNTHASE INHIBITORS IN WEEDS WITH EMPHASIS ON DNA-BASED TECHNIQUES: A REVIEW. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **62**, 584-597.
- DÉLYE, C. UND K. BOUCANSAUD, 2008: A MOLECULAR ASSAY FOR THE PROACTIVE DETECTION OF TARGET SITE-BASED RESISTANCE TO HERBICIDES INHIBITING ACETOLACTATE SYNTHASE IN *ALOPECURUS MYOSUROIDES*. *WEED RESEARCH* **48**, 97-101.
- DÉLYE, C., K. BOUCANSAUD, F. PERNIN UND V. LE CORRE, 2009: A VARIATION IN THE GENE ENCODING ACETOLACTATE-SYNTHASE IN *LOLIUM* SPECIES AND PROACTIVE DETECTION OF MUTANT, HERBICIDE-RESISTANT ALLELES. *WEED RESEARCH* **49**, 326-336.
- DÉLYE, C., F. PERNIN UND S. MICHEL, 2011: „UNIVERSAL“ PCR ASSAYS DETECTING MUTATIONS IN ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE OR ACETOLACTATE SYNTHASE THAT ENDOW HERBICIDE RESISTANCE IN GRASS WEEDS. *WEED RESEARCH* **51**, 353-362.
- KRYSIAK, M., S.W. GAWROŃSKI, K. ADAMCZEWSKI UND R. KIERZEK, 2011: ALS GENE MUTATIONS IN *APERA SPICA-VENTI* CONFER BROAD-RANGE RESISTANCE TO HERBICIDES. *JOURNAL OF PLANT PROTECTION RESEARCH* **51**, 261-267.
- NEFF, M.M., J.D. NEFF, J. CHORY UND A.E. PEPPER, 1998: dCAPS, A SIMPLE TECHNIQUE FOR GENETIC ANALYSIS OF SINGLE NUCLEOTIDE POLYMORPHISMS: EXPERIMENTAL APPLICATIONS IN *ARABIDOPSIS THALIANA* GENETICS. *THE PLANT JOURNAL* **14**, 387-192.
- PFERDMENGES, F., S. CHENEVIER, H. VANTIEGHEM, A. SCHÖNHAMMER, M. PFENNING UND R. KEHLER, 2010: CLEARFIELD®-PRODUKTIONSSYSTEM: DAS ZUSAMMENSPIEL VON ZÜCHTUNG UND PFLANZENSCHUTZ. *JULIUS-KÜHN-ARCHIV* **428**, 484.
- RUTLEDGE R., T. OUELLET, J. HATTORI UND B. MIKI, 1991: MOLECULAR CHARACTERIZATION AND GENETIC ORIGIN OF THE BRASSICA NAPUS ACETOHYDROXYACID SYNTHASE MULTIGENE FAMILY. *MOLECULAR AND GENERAL GENETICS* **229**, 31-40.

- SCHMITT, G.K. UND B.K. SINGH, 1990: TISSUE DISTRIBUTION OF ACETOHYDROXYACID SYNTHASE ACTIVITY AT VARIOUS DEVELOPMENTAL STAGES OF LIMA BEAN. PESTICIDE SCIENCE **30**, 418-419.
- 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.
- YU, Q., X. Q. ZHANG, A. HASHEM, M.J. WALSH UND S.B. POWLES, 2003: IMIDAZOLINONE-TOLERANT CROPS: HISTORY, CURRENT STATUS AND FUTURE. PEST MANAGEMENT SCIENCE **61**, 246-257.



## Status and development of ACCase and ALS inhibitor resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in neighboring fields in Germany

Status und Entwicklung von ACCase- und ALS-Inhibitor resistenten Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in benachbarten Feldern in Deutschland

Martin Hess\*, Roland Beffa, Joachim Kaiser, Bernd Laber, Hubert Menne & Harry Strek  
Bayer CropScience AG Industriepark Höchst, H872, D-65926 Frankfurt am Main, Germany

\*Corresponding author, hubert.menne@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.019

### Summary

Neighboring fields in three local areas of southern Germany have been investigated for the infestation level and herbicide resistance structure of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). One field within a local area, each with confirmed resistance, served as starting point to survey the surrounding fields. Eighty percent of the fields had very few black-grass ears prior to harvest, with mainly ears from single plants spread over the field. Infestation in the other fields was in large patches or widespread, yet in most situations it did not significantly impact on yield level. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides was found on all tested fields in each region. Plants with a target-site mutation to ACCase inhibitors were found in all samples; in addition, most plants also exhibited non-target-site resistance. All five mutations conferring ACCase resistance were found. The diversity of the mutations between areas suggests that resistance evolved independently in most fields. At two locations, each one with confirmed ALS resistance, additional fields with reduced ALS efficacy were detected. At one location only the mutation P197T was found, at the second the W574L mutation was also found. Target-site resistance appears to be the major mechanism for these early cases of ALS inhibitor resistance. Understanding the resistance development in individual fields and the spatial dynamics requires investigation over several years. The example of ACCase resistance to black-grass demonstrates how a specific mode of action can be rendered ineffective over a whole region. It provides a possible model for ALS-inhibiting herbicides. In the current situation, farmers are able to manage the black-grass infestation quite well. Resistance in a field seems to develop first in patches with high population densities. Resistance management should therefore focus on the management of the seed bank of each field, using all measures to keep the population pressure low.

**Keywords:** ACCase inhibitors, ALS inhibitors, blackgrass, Germany, non-target-site resistance, target-site resistance

### Zusammenfassung

Benachbarte Felder aus drei Gebieten in Süddeutschland wurden auf Befall und Struktur von Herbizidresistenzen bei Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) untersucht. Jeweils ein Feld mit bestätigter Resistenz diente als Ausgangspunkt für die Untersuchung der umliegenden Felder. Auf 80 Prozent der Felder fanden sich nur sehr wenige Ähren von über das Feld verstreuten Einzelpflanzen. Der Befall auf den anderen Feldern war in größeren Flecken oder über das ganze Feld verteilt, meist ohne geschätzten Einfluss auf den Ertrag. Resistenz zu ACCase-Inhibitoren wurde auf jedem der Felder in jeder Region gefunden. In allen Proben wurden Pflanzen mit Target-Site Mutationen und solche mit Nicht-Target-Site Resistenzen gefunden. Alle fünf bekannten ACCase-Mutationen wurden gefunden. Die große Diversität der Mutationen lässt vermuten, dass sich die Resistenz unabhängig auf den einzelnen Feldern entwickelt hat. In zwei Gebieten gab es von Anfang an jeweils ein Feld mit bestätigter Resistenz gegen ALS-Inhibitoren. Hier wurde auf weiteren Feldern eine reduzierte Herbizidwirkung nachgewiesen. In einer Region wurde die Mutation P197T gefunden, zusätzlich die Mutation W574L auf den Feldern des zweiten Gebiets. Target-site Resistenz scheint die Hauptursache für diese frühe Phase der ALS-Resistenzentwicklung zu sein. Um die Resistenzentwicklung auf einzelnen Feldern und die Ausbreitung über ein ganzes Gebiet zu verstehen, bedarf es Daten mehrerer Jahre. Das Beispiel der Resistenz gegen ACCase Inhibitoren von Ackerfuchsschwanz demonstriert wie ein bestimmter Wirkmechanismus über ein weites Gebiet wirkungslos werden kann. Es ist ein mögliches Modell für ALS-inhibierende Herbizide. Gegenwärtig wird der Ackerfuchsschwanz in den untersuchten Gebieten von den Landwirten sehr gut bekämpft. Die Resistenzen scheinen sich zuerst auf Feldstellen mit hohen Populationsdichten zu entwickeln. Resistenzmanagement sollte daher an erster Stelle alle möglichen Maßnahmen umfassen, die den Samenvorrat im Boden niedrig halten.

**Stichwörter:** ACCase-Inhibitoren, Ackerfuchsschwanz, ALS-Inhibitoren, Deutschland, Non-Target-Site Resistenz, Target-Site Resistenz

## 1. Introduction

In this study we evaluated the herbicide resistance structure of different *Alopecurus myosuroides* biotypes in three small areas of about 3 km<sup>2</sup> in southern Germany. Starting with a field of known resistance history, contiguous fields were investigated. The following questions were to be answered: What is the overall infestation level of *A. myosuroides* of these areas and individual fields? Does resistance occur and which kind? How is resistance developing and spreading?

The answers to these questions are of great importance for the development of optimal resistance avoidance/delaying strategies and for safeguarding high yields despite the risks posed by herbicide resistance. Country-wide resistance surveys have been conducted in several regions of Europe for *A. myosuroides* resistance, in Germany (ARLT, 1998; BÜNTE and NIEMANN, 2004; PETERSEN, 2011), in France (DÉLYE et al., 2007, 2010a, 2010b; MENCHARI et al., 2006; CHAUVEL et al., 2006; PETIT et al., 2010) and in the UK (MOSS and PERRYMAN, 2007; MARSHALL and MOSS, 2008). These investigations were made on a country-wide or regional basis with sampling of individual fields, mostly separated by a large distance. Most of the seed samples were taken from fields with suspected herbicide resistance, which likely led to an overestimation of the abundance of herbicide resistance. Other investigations concentrated on the dynamics of resistance development on a defined, single field (BALGHEIM et al., 2008; CAVAN et al., 1998; CHAUVEL et al., 2006). Our approach appears to be unique as it specializes on neighboring fields in small local areas managed by only a few farmers. This paper provides a first status report of monitoring results over two years. It is however clear that these results should be considered to be preliminary, as the dynamics of resistance development can only be judged after several seasons.

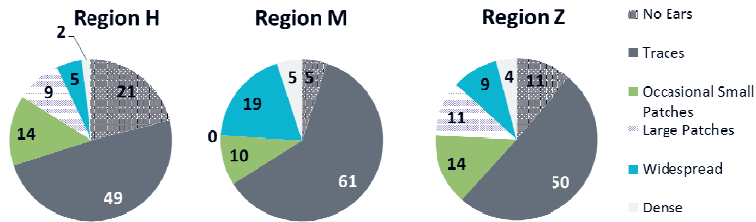
## 2. Materials and methods

Three starting fields were selected from the 2008 and 2009 herbicide resistance monitoring program of Bayer CropScience. The distances between the starting fields are 9, 10 and 14 km. The *A. myosuroides* populations from all three fields (the fields and the surrounding area will be designated as regions H, M, Z) proved to be resistant to herbicides inhibiting the acetyl-coenzyme A carboxylase (ACCase). Fields M and Z are in addition resistant to acetolactate synthase (ALS) inhibiting herbicides. In 2010, *A. myosuroides* seeds were sampled from a limited number of fields surrounding fields H and Z. The sampling procedure was extended to more fields from different farmers in 2011 in all three regions. Fields were searched for black-grass ears by walking along two of the field borders and three sets of tractor tracks throughout the whole field. Seeds from only one ear per plant were collected as uniformly as possible over the field with up to a total of 200 ears collected per field. The infestation level was scored for ear abundance using six categories (CHANCELLOR and FROUD-WILLIAMS, 1984). The following scale was used: 0 = no ears found, 1 = traces of ears from a few solitary, scattered plants in the field or along field borders, 2 = occasional small patches, 3 = large patches, 4 = widespread throughout the field, 5 = a dense and serious infestation. Resistance analysis based on greenhouse bioassays were carried out following the method described by MENNE and HOGREFE (2012). Fenoxaprop-P-ethyl at 41 to 166 g ha<sup>-1</sup> (Ralon Super<sup>®</sup>) and the combination mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl at 15+3 to 60+11 g ha<sup>-1</sup> (Atlantis WG<sup>®</sup>) were used as representative herbicides for the ACCase and ALS inhibiting herbicides. PCR and pyrosequencing procedures were used for the target-site resistance analysis are described by BEFFA et al. (2012).

### 3. Results

#### 3.1 Infestation level with ears of *A. myosuroides* Huds.

The infestation level as measured by a count of ears of *A. myosuroides* was very low in about two-thirds of the fields (Fig. 1). "Traces" means a few ears were dispersed over the field, sometimes only along the field border. In a few cases small spots had been missed by herbicide application; these were also counted under this category. Four fields from a total of 104 were classified with a dense and serious infestation. The infestation levels were comparable over the three regions. Within a region the infestation level was without clear clustering (Fig. 4). Only region Z had more fields with higher ear density in the centre.

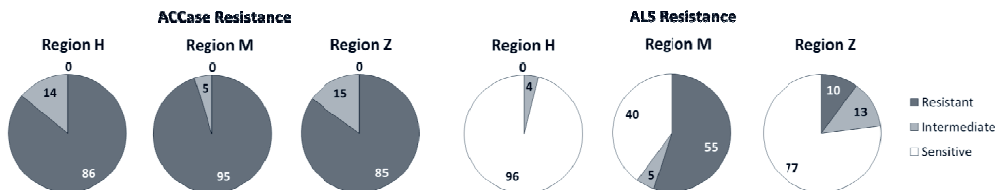


**Fig. 1** The occurrence of six infestation levels of ears of *A. myosuroides* in fields from three regions. Results from regions H and Z are from 2010 and 2011, region M are only from 2011. Numbers represent % of fields in each category.

**Abb. 1** Das Auftreten von sechs Befallsstufen von Ähren von *A. myosuroides* auf Feldern von drei Regionen. Ergebnisse für Regionen H und Z aus 2010 und 2011, Region M nur aus 2011. Zahlen sind % Anteil der Felder in den Kategorien.

#### 3.2 Herbicide resistance level of plants from the collected seeds

All populations tested by bioassay had ACCase resistance (Fig. 2). In 80 % of the cases the resistance was strongly expressed with not a single sensitive plant remaining. Individual plants without confirmed target site resistance (TSR) also survived the herbicide treatments, expressing a high degree of non-target-site resistance. The degree of ACCase resistance was similar in all three regions. The resistance to ALS inhibitors was different between the areas. In region H, one population reacted with slightly reduced efficacy to ALS chemistry and the resistance level was classified as intermediate. In region Z, 9 from 39 populations expressed intermediate or full resistance to ALS inhibitors. Half of the tested populations from region M proved to be resistant to ALS herbicides. Most plants without ALS TSR-conferring mutations were sensitive, indicating the absence of non-target-site resistance mechanisms.



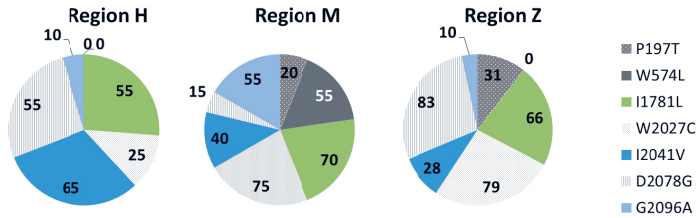
**Fig. 2** The occurrence of three herbicide resistance classes of *A. myosuroides* in fields from three regions. Results mainly from 2011, regions H and Z also results from 2010. Numbers represent % of fields in each category. Resistant < 50 %, intermediate 50 – 80 %, sensitive > 80 % efficacy.

**Abb. 2** Das Auftreten von drei Resistenzstufen von *A. myosuroides* auf Feldern von drei Regionen. Ergebnisse sind hauptsächlich von 2011, für Regionen H und Z auch aus 2010. Zahlen sind % Anteil der Felder in den Kategorien. Resistent < 50 %, intermediär 50 – 80 %, sensitiv > 80 % Wirkung.

### 3.3 Occurrence of target site mutations conferring resistance

#### 3.3.1 ACCase

All five target-site mutations conferring resistance to inhibitors of ACCase (I1781L, W2027C, I2041V, D2078G, G2096A) were found in at least one plant in at least one field population in all three regions (Fig. 3).



**Fig. 3** The occurrence of ACCase and ALS TSR-conferring mutations in fields from three regions. Each field population had to have one plant with the specific mutation. Results are mainly from seeds collected 2011. Numbers represent % of fields in each category. Due to overlap of mutations in populations total may exceed 100 %

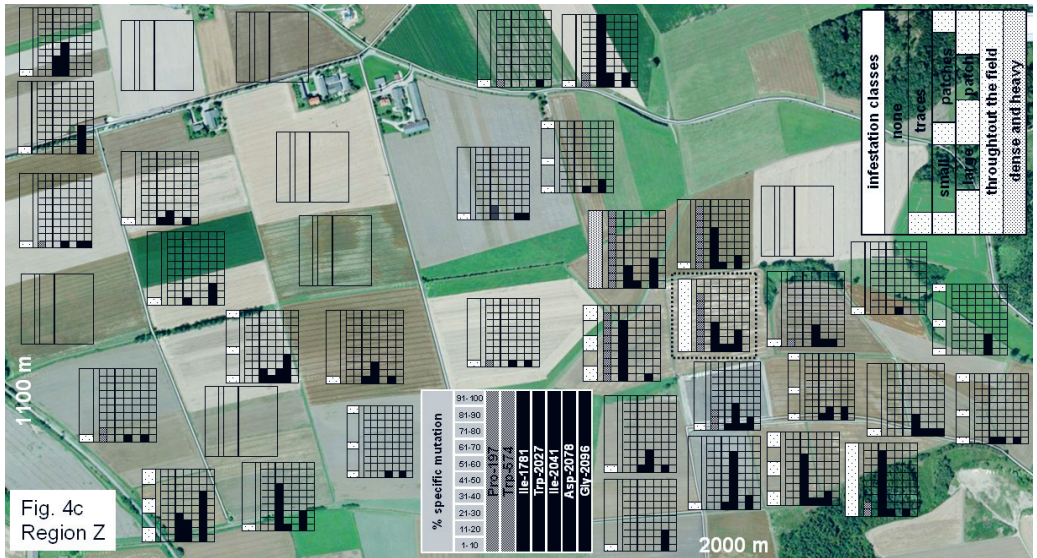
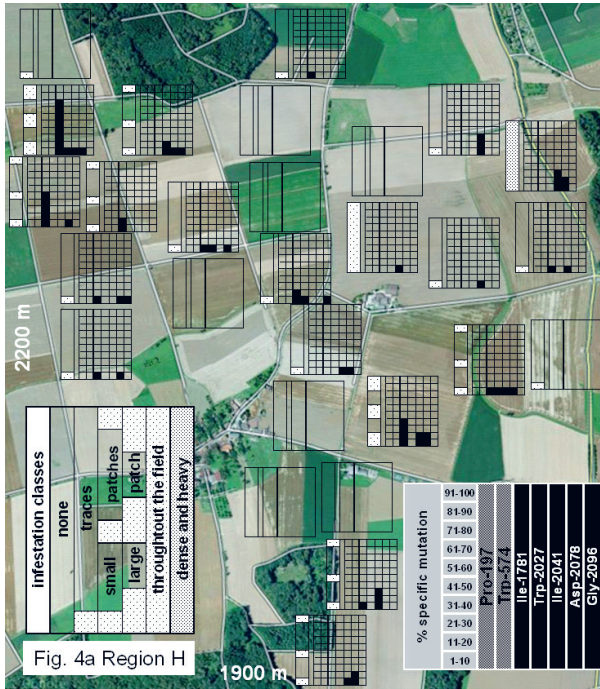
**Abb. 3** Das Auftreten von ACCase und ALS target-site Resistenz verursachenden Mutationen in drei Regionen. Jede Feldpopulation musste mindestens eine Pflanze mit der jeweiligen spezifischen Mutation haben. Die Ergebnisse sind hauptsächlich von Samenproben aus 2011. Zahlen sind % Anteil der Felder in den Kategorien. Wegen gleichzeitigem Vorkommen von zwei oder mehr Mutationen in den Populationen, kann die Summe 100 % überschreiten.

The I1781L mutation was detected in over half of the fields in each of the three regions, showing the most widespread distribution. The frequency of the four other ACCase mutations differed between the regions. The W2027C mutation was found in close to 80 % of the investigated fields in region M and Z but was found in only 25 % of populations from region H. The I2041V mutation was more frequent in region H (65 %) and less frequent in the two other areas (40 and 28 %). In region Z, the D2078G mutation was found in 83 % of all fields, but was found in only 15 % of the populations in region M. The G2096A mutation was in contrast more frequent in region M and was only found in 2 out of 20 fields in the areas H and Z.

#### 3.3.2 ALS

Both ALS resistance conferring mutations (P197T, W574L) were detected in region M. In 11 out of 20 fields at least one plant had the W574L mutation and in 6 out of 20 fields at least one plant had the P197T mutation. In region Z, only the P197T mutation was found, and this in only nine out of 29 fields. No ALS mutations were found in region H. Spatial distribution of mutation types and frequencies were different between fields within a region and between regions (Fig. 4).





**Fig. 4** Spatial distribution of ear densities using six scoring classes and frequencies of the two ALS and five ACCase mutations.

**Abb. 4** Verteilung der sechs Befallsstärken mit Ähren und die Häufigkeit des Auftretens der zwei ALS- und fünf ACCase-Mutationen.

## 4. Discussion

### 4.1 Severity of infestation with *A. myosuroides*

In half of the fields no ears were found or the infestation level was very low. We must assume that category 0 (no ears found) has a high ratio of false negatives because ears may have been missed during counting. We defined occasional small patches as clusters of plants on a few square meters up to about 100 m<sup>2</sup>, but covering less than 1 % of the total field area. Large patches represented a significant part of a field often up to 10 – 30 % of the area. The next highest degree of infestation, severity widespread throughout the field, does not allow any differentiation into single patches. Underestimation of infestation level could also be the case with a dense and serious infestation (category 5). The interpretation and final classification was left to the judgment of the recorder. The ratings in these studies were made just prior to harvest and represent ears from plants which have either survived herbicide treatments or have not been sprayed. An estimation of the actual infestation level in autumn or spring has not been made. We can assume that all fields in the survey areas were infested with *A. myosuroides* at different levels, but were well controlled by the farmer at harvest time. These findings on three small areas correspond well with the overall situation in Germany, where infestation levels of *A. myosuroides* in most fields are kept far below any yield loss threshold with the current tools. Ratings of the actual infestation level at harvest will allow a better estimation of the actual severity and potential yield impact of herbicide resistance beyond the pure confirmation of the presence of resistance. Farmers manage black-grass infestations on the majority of their fields well considering the current status of infestation level and type of herbicide resistance.

### 4.2 Herbicide resistance level

All tested field populations were resistant to ACCase inhibiting herbicides (Fig. 2). Survey results from France (DÉLYE et al., 2007; DÉLYE et al., 2010b) and England (MOSS and PERRYMAN, 2007) confirm these results with 80 to 100 % of the collected biotypes expressing ACCase inhibitor resistance. The prevalence of ACCase inhibitor resistance in Germany, based only on samples of suspected resistance, was lower in the past. ARLT (1998) found 39 % highly resistant populations from the years 1994 to 1997. DÉLYE et al. (2010b) reported 62 % resistance for the years 2001 to 2005. With a sampling focus on northwest Germany, BÜNTE and NIEMANN (2004) reported 84 % resistant samples for 2001. Latest survey results from 2008 to 2010 for the whole of Germany detected in 80 % of 236 samples either reduced activity or in most cases strong ACCase inhibitor resistance (PETERSEN, 2011). If we extrapolate our finding that each field with high, proven ACCase resistance is surrounded in a radius of several hundred meters with fields which also show ACCase inhibitor resistance, we must conclude, that ACCase resistance is widespread in Germany. The resistance of *A. myosuroides* to ACCase inhibiting herbicides therefore reflects a mature and well established situation, on a field scale as well as on a wider regional scale. Infrequent use of ACCase inhibiting herbicides, once about every 3-4 years mainly for the control of volunteer cereals in oilseed rape, will likely maintain the selection pressure for resistance. *A. myosuroides* resistance to ALS inhibiting herbicides has been confirmed in about 6 % of 236 populations with suspected resistance in Germany (PETERSEN, 2011). MARSHALL and MOSS (2008) detected ALS inhibitor resistance in England in eight out of 43 samples collected 2004 to 2006 from fields where plants had survived an ALS inhibitor treatment. In region H, one field with intermediate ALS resistance was detected. The infestation level was low and no factors which may explain this low level of resistance could be identified. The field monitoring in the regions M and Z each started from a specific field with confirmed ALS inhibitor resistance. In both areas an irregular layer of contiguous fields with ALS resistant biotypes was found (Fig. 4). This situation provides an opportunity for a retrospective controlled case study. Comparing fields with and without ALS inhibitor resistance can help us to identify possible risk factors. The main working hypothesis is based on different *A. myosuroides* infestation levels right from the beginning of the selection process.

### 4.3 Structure of the occurrence of TSR mutations

Each of the five tested ACCase resistance conferring mutations was found in at least one plant on at least one field in each area (Fig. 3). This is a far higher occurrence of ACCase mutations as was found in samples from Germany 2001 – 2005 (DÉLYE et al., 2010b), in which 19 % of 75 populations had the

G2096A mutation, and 12 % the G2078C mutation; the three other mutations were found with less than 10 % occurrence. Our results from the three small geographical areas in Germany are more comparable with the results from France and specifically the UK, having a similar or higher occurrence of the specific mutations. The risk factors that promote the development of herbicide resistance in *A. myosuroides* in these three regions are similar to those in greater parts of the UK, but not to those in large regions of Germany. They include close to 100 % early autumn-sown winter crops in the rotation, little use of the moldboard plough, clay rich soils and consequently high infestation levels with black-grass. Although all five investigated mutations are present in each of the regions, mutation frequencies between the regions and between single fields are very different (Fig. 3 and 4). This is similar to results from sample locations which are greater distances apart, allowing no pollen and seed exchange and where multiple, independent appearances of mutant ACCase alleles must have occurred (MENCHARI et al., 2006). This seems to be true also for the two ALS resistance conferring mutations (P197T, W574L). The P197T mutation was observed only in areas M and Z, but the W574 mutation was observed only in fields in area M. The observed pattern of mutations between fields within an area suggest that they were independently selected in each field in regions M and Z, but this is conjecture and must be investigated. The actual spatial distribution from field to field could also have resulted by spread of pollen or seed from fields with common borders, or from fields in the center of a given area (Fig. 4). The biology of *A. myosuroides* as an obligate out-crossing species supports this hypothesis. Support for the proliferation of resistance by gene flow over several kilometers could not be found with this survey by comparing fields from three distinct areas about 10 km apart and also between fields which are only a few hundred meters apart. These findings contradict the results from DÉLYE et al. (2010a) with I1781L mutations spreading over several kilometers. They are in accordance with those of CAVAN et al., (1998), who also found no evidence of the spread of resistance between patches within one field.

#### 4.4 Emergence and spread of resistance

Analyzing emergence and spread of resistance requires data from several years. The majority of our data are only from 2011 with some fields also surveyed in 2010. This will not suffice to allow a clear description of the population and extrapolation of the resistance dynamics over subsequent years and a larger geography. The occurrence of resistance with two different herbicidal modes of action in different stages of development supports the following conclusion. Resistance to ACCase inhibitors is prevalent over all three areas. There is a high frequency of TSR to ACCase inhibitors (Fig. 3 and 4). Plants without TSR did in most cases also survive applications of ACCase herbicides, suggesting that non-TSR to ACCase was present. The highly diverse patterns and frequencies of the five resistance conferring ACCase mutations from field to field and between the regions suggest that resistance evolved independently in each field, but this remains to be proven. In the next few years, we do not expect a change in the basic ACCase resistance structure on these fields, assuming only occasional use of ACCase inhibiting herbicides and no fitness penalty associated with any of the five mutations. The specific mutations should approach the distribution predicted by the Hardy-Weinberg-equilibrium, which was observed with some of the populations having the I1781L mutation. Resistance to ALS inhibiting herbicides is in an initial stage of development. Besides the fields with known TSR resistance from previous years, we have identified a few more fields with single plants expressing resistance. As is the case with ACCase inhibitor resistance, due to the distribution pattern we assume independent evolution for each field. Even on adjacent fields, we do not see the spread of a particular type of resistance profile from one field to the other. Size, shape, and position of the single patches in these fields suggest strongly the independent evolution within a field and not the spreading of seed from neighboring fields through an infection via pollen.

#### References

- ARLT, K., 1998: ERGEBNISSE EINES VIERJÄHRIGEN MONITORINGS ZUM AUFTRETEN VON HERBIZID-WIRKUNGSVERLUSTEN BEI DER BEKÄMPFUNG DES ACKERFUCHSSCHWANZGRASES *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XVI**, 419-424.

- BALGHEIM, N., J. WAGNER AND R. GERHARDS, 2008: SPATIAL DISTRIBUTION OF HERBICIDE RESISTANT *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. ON FIELD SCALE: A CASE STUDY. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 63-68.
- BEFFA, R., A. FIGGE, L. LORENT, M. HESS, B. LABER, J. RUIZ-SANTAELLA AND H. STREK, 2012: WEED RESISTANCE DIAGNOSTIC TECHNOLOGIES TO DETECT HERBICIDE RESISTANCE IN CEREAL-GROWING AREAS. JULIUS-KÜHN-ARCHIV, **434**, 77-82.
- BÜNTE, R. AND P. NIEMANN, 2004: ERGEBNISSE EINES GEZIELTEN MONITORINGS AUF HERBIZIDRESISTENZEN BEI *ALOPECURUS MYOSUROIDES* IN NORDWEST-DEUTSCHLAND. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XIX**, 863-869.
- CAVAN, G., P. BISS AND S.R. MOSS, 1998: LOCALIZED ORIGINS OF HERBICIDE RESISTANCE IN *ALOPECURUS MYOSUROIDES*. WEED RESEARCH **38**, 239-245.
- CHANCELLOR, R.J. AND R.J. FROUD-WILLIAMS, 1984: A SECOND SURVEY OF CEREAL WEEDS IN CENTRAL SOUTHERN ENGLAND. WEED RESEARCH **24**, 29-36.
- CHAUVEL, B., J.P. GUILLEMIN, F. DESSAINT AND C. DÉLYE, 2006: REGIONAL STUDY OF HERBICIDE RESISTANCE OF *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. IN FRANCE. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 57-64.
- DÉLYE, C., Y. MENCHARI, J.-P. GUILLEMIN, A. MATEJICEK, S. MICHEL, C. CAMILLERI AND B. CHAUVEL, 2007: STATUS OF BLACK GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*) RESISTANCE TO ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITORS IN FRANCE. WEED RESEARCH **47**, 95-105.
- DÉLYE, C., J. L. CLÉMENT, F. PERNIN, C. CHAUVEL AND V. LE CORE, 2010A: HIGH GENE FLOW PROMOTES THE GENETIC HOMOGENEITY OF ARABLE WEED POPULATIONS AT THE LANDSCAPE LEVEL. BASIC AND APPLIED ECOLOGY **11**, 504-512.
- DÉLYE, C., J. L. CLÉMENT, F. PERNIN, C. CHAUVEL AND V. LE CORE, 2010B: GEOGRAPHICAL VARIATION IN THE RESISTANCE TO ACETHYL-COENZYME A CARBOXYLASE-INHIBITING HERBICIDES ACROSS THE RANGE OF ARABLE WEED *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK-GRASS). NEW PHYTOLOGIST **186**, 1005-1017.
- MARSHALL, R. AND S. R. MOSS, 2008: CHARACTERIZATION AND MOLECULAR BASIS OF ALS INHIBITOR RESISTANCE IN THE GRASS *ALOPECURUS MYOSUROIDES*. WEED RESEARCH **48**, 439-447.
- MENCHARI, Y., C. CAMILLERI, S. MICHEL, D. BRUNEL, F. DESSAINT, V. LE CORRE AND C. DÉLYE, 2006: WEED RESPONSE TO HERBICIDES: REGIONAL-SCALE DISTRIBUTION OF HERBICIDE RESISTANCE ALLELES IN THE GRASS WEED *ALOPECURUS MYOSUROIDES*. NEW PHYTOLOGIST **171**, 861-874.
- MENNE, H. AND C. HOGREFE, 2012: IMPACT OF MULTIPLE RESISTANCE MECHANISMS IN BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) POPULATIONS ON THE ACTIVITY OF CEREAL HERBICIDES. JULIUS-KÜHN-ARCHIV, **434**, 67-76.
- MOSS, S.R. AND S.A.M. PERRYMAN, 2007: THE INCIDENCE OF HERBICIDE-RESISTANT *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK-GRASS) IN ENGLAND AND ITS DEVELOPMENT IN RELATION TO PAST HERBICIDE USE. ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY **83**, 109-113.
- PETERSEN, J., M. DRESBACH-RUNKEL AND J. WAGNER, 2010: A METHOD TO DETERMINE THE POLLEN-MEDIATED SPREAD OF TARGET-SITE RESISTANCE TO ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITORS IN BLACK GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.). JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **117**, 122-128.
- PETERSEN, J., 2011: AKTUELLE SITUATION DER HERBIZIDRESISTENZEN BEI UNGRÄSERN. GETREIDEMAGAZIN **1**, 8-12.
- PETIT, C., B. GUILLAUME, F. PERNIN AND C. DÉLYE, 2010: PREVALENCE OF CROSS- OR MULTIPLE RESISTANCE TO THE ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITORS FENOXAPROP, CLODINAFOP AND PINOXADEN IN BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) IN FRANCE. PEST MANAGEMENT SCIENCE **66**, 168-177.

## **Glyphosat-Resistenz in amerikanische Reihenkulturen und Lehren für die Unkrautbekämpfung in Europa**

*Glyphosate resistance in American row crops and lessons for weed control in Europe*

Harry J. Strek\*, Martin Hess & Joachim Kaiser

Bayer CropScience AG, Industriepark Höchst, H872, D-65926 Frankfurt am Main

\*Korrespondierender Autor, harry.strek@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.020

### **Zusammenfassung**

Glyphosat ist das weltweit am häufigsten eingesetzte Herbizid. Es ist seit 1974 auf dem Markt, aber erst mit der Einführung herbizidtoleranter Kulturen in Nord- und Südamerika, die den selektiven Einsatz in Baumwolle, Mais, Raps und Sojabohne über die Vegetationsperiode ermöglichten, ist der Einsatz stark gestiegen. Seit dem ersten Bericht eines Glyphosat-resistenten Unkrautes in einer Reihenkultur im Jahr 2000 sind mehrere resistente Arten im Südosten und Süden der USA weit verbreitet und nehmen jetzt auch im Hauptanbauggebiet für Mais und Soja in mittleren Westen der USA zu. Die Ursachen für diese Entwicklung liegen im häufigen alleinigen Einsatz von Glyphosat, oft niedrigen Aufwandmengen gegen schon größere Unkrautstadien und wenig Wechsel mit anderen Wirkstoffen. Weitere Gründe sind reduzierte Bodenbearbeitung, einseitige Fruchtfolgen und der Mangel an anderen Maßnahmen eines integrierten Unkrautmanagements. In Europa wird Glyphosat in Ackerbaukulturen zunehmend vor der Getreideaussaat eingesetzt. Die Dynamik des Einsatzes von Glyphosat ist in Europa sicher anders als in den USA, die Botschaft ist aber eindeutig, dass kein Herbizid gegen die Entwicklung von Resistenzen immun ist. Es gilt andere ergänzende Maßnahmen in Unkraut-Management-Strategien zu integrieren um den Nutzen der vorhandenen Herbizide langfristig zu erhalten.

**Stichwörter:** EPSP-Hemmer, Glyphosat, Herbizidresistenz

### **Summary**

Glyphosate is the single most-used herbicide in the world. It has been on the market since 1974, but its use increased rapidly in North and South America with the adoption of the herbicide tolerant traits in crops that made its use possible in canola, cotton, corn and soybean to control weeds during the cropping season. Since the first report of a glyphosate resistant weed in a row crop in 2000, resistance has spread throughout most of the cropping areas of the Southeast and Mid- South regions of the US and is now growing in the Midwest corn-soybean belt. The reason for this development is clear, the use of only glyphosate to control weeds, its application to very large weeds and the use of low rates, coupled with lack of significant tillage and rotation to other herbicides or crops and other integrated weed management strategies have contributed to the situation. In Europe glyphosate is used in cereals to provide a weed-free field to sow the crop. Although the dynamics in Europe are different, the lessons to be learned from the US are that no herbicide system is immune to the development of resistance and care should be taken to integrate other complementary measures into weed management strategies in order to preserve the utility of all current herbicides.

**Keywords:** EPSP-inhibitor, glyphosate, herbicide resistance

### **1 Einleitung**

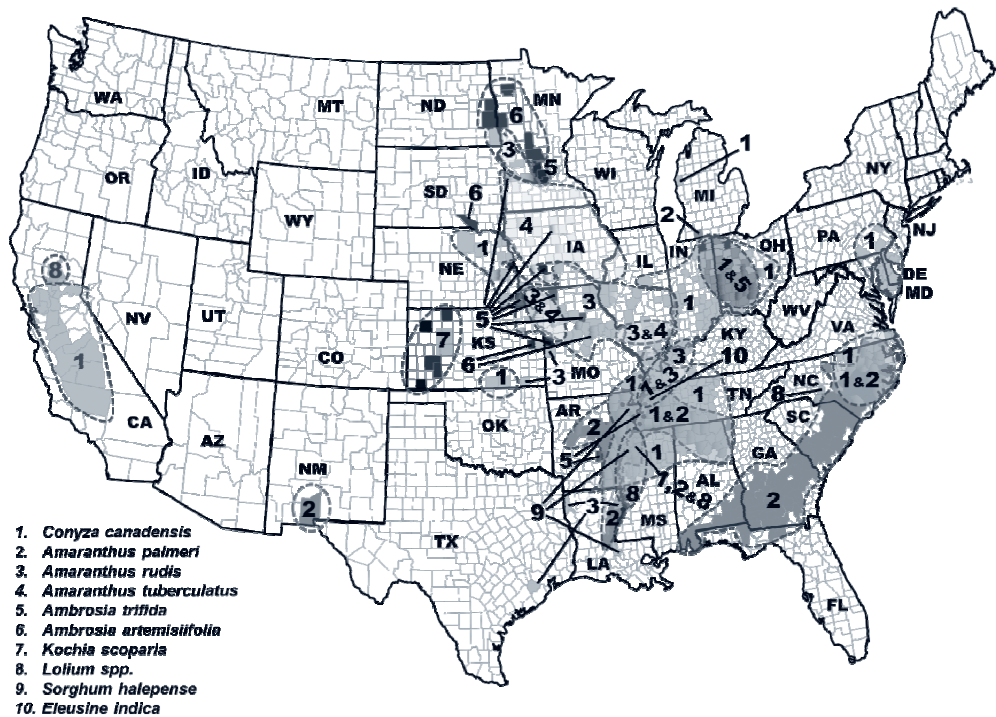
Glyphosat ist das weltweit am häufigsten eingesetzte Herbizid (POWLES, 2008). Glyphosat blockiert die EPSP-Synthase (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase; EC 2.5.1.19) und ist in empfindlichen Pflanzen sehr gut systemisch (POWLES, 2008). Es ist seit 1974 auf dem Markt, aber erst mit der Einführung herbizidtoleranter Kulturen in Nord- und Südamerika, die den selektiven Einsatz in Baumwolle, Mais, Raps und Sojabohne über die Vegetationsperiode ermöglichten, ist der Einsatz stark gestiegen (DUKE und POWLES, 2008). Seit dem ersten Bericht eines Glyphosat-resistenten Unkrautes in einer Reihenkultur in den USA im Jahr 2000 (VANGESSEL, 2001) hat sich die Resistenz im Südosten und Süden der USA weit verbreitet (CULPEPPER et al., 2010). Glyphosat-Resistenzen nehmen jetzt auch im klassischen Mais- und Sojaanbauggebiet im Mittleren Westen der USA zu (TRANDEL et al., 2011). Das Vorkommen multipler Resistenzen, insbesondere bei den *Amaranthus*-Arten *A. powellii* und *A. tuberculatus* stellen die Langfristigkeit der gegenwärtigen Produktionssystem in Frage und verlangen verstärkt nach neuen Herbizid-Optionen oder neuen Unkraut-Management-Strategien

(TRANEL et al., 2010).

## 2. Vorkommen, Ursachen und Management von Glyphosat-Resistenzen in Reihenkulturen der USA

### 2.1 Vorkommen von Glyphosat-Resistenzen in Reihenkulturen der USA

Der erste Bericht eines Glyphosat-resistenten Unkrautes war *Lolium rigidum* 1996 in Australien (POWLES et al., 1998; PRATLEY et al., 1999). Wenige Jahre später wurde eine Population von *Conyza canadensis* in einem Sojabohnenfeld in Delaware gefunden, welche zwei Applikationen in der Kultur und eine Behandlung vor Aussaat der Kultur überlebt hatten (VANGESSEL, 2001). Auf dem Feld waren im Vorjahr zum ersten Mal Glyphosat-tolerante Sojabohnen mit den gleichen Herbizidbehandlungen angebaut worden; in den Jahren zuvor war Glyphosat erfolgreich zur Unkrautbekämpfung im Vorsaatverfahren eingesetzt worden. Die Ursachen dieser Resistenzen liegen vermutlich in reduzierter Wirkstoffaufnahme (FENG et al., 2004). Diese resistente Art ist nun über ein weites Gebiet verbreitet (STECKEL et al., 2010) insbesondere über sieben bestimmte Gebiete (Abb. 1).



- 1) Status Dezember 2011. Die tatsächliche Verbreitung im Feld ist wahrscheinlich schon weiter fortgeschritten, da die Untersuchung eines Resistenzfalles von der Beobachtung im Feld bis zur endgültigen Bestätigung durch biologische Versuche zeitaufwändig ist.
- 2) Nur Fälle, die die Resistenzkriterien des International Survey of Herbicide Resistant Weeds erfüllen (<http://www.weedscience.org/resgroups/Detect%20Resistance.pdf>) wurden im Datensatz akzeptiert.
- 3) Datenquellen umfassen wissenschaftliche Literatur, den International Survey of Herbicide Resistant Weeds (mit einer Bestimmung bis auf Landkreisebene), landwirtschaftliche Literatur, Ergebnisse eigener Untersuchungen, persönliche Mitteilungen.
- 4) Per Landkreis musste die Resistenz auf mindestens einem Feld bestätigt sein.

**Abb. 1** Verteilung der Glyphosat-Resistenz in den Vereinigten Staaten.

**Fig. 1** Distribution of glyphosate resistant species in the USA.



**Abb. 2** *Amaranthus palmeri* in Baumwolle.  
**Fig. 2** *Amaranthus palmeri* in cotton.



**Abb. 3** *Amaranthus palmeri*-Stamm.  
**Fig. 3** *Amaranthus palmeri* stem.

Von noch größerer Sorge ist die Entwicklung Glyphosat-resistenter *Amaranthus*-Arten wie *A. palmeri* und *A. tuberculatus/A. rudis*. Erstmalig wurde unzureichende Glyphosatwirkung an *A. palmeri* 2004 in Georgia berichtet (CULPEPPER et al., 2006). Auf dem betroffenen Feld wurde seit 1997, dem Jahr der Einführung Glyphosat-toleranter Baumwolle, jedes Jahr Baumwolle kultiviert mit jährlich einer Vorsaapplikation und zwei bis vier Behandlungen in der Kultur, oft mit reduzierten Aufwandmengen (CULPEPPER, 2008). Der Resistenzmechanismus dieser Population basiert wahrscheinlich auf einer Vervielfachung des EPS-Gens (GAINES et al., 2010). Vitales Wachstum, starke Konkurrenzkraft und hohe Samenproduktion verursachen eine schnelle Verbreitung auf einem Feld. Schon wenige Pflanzen stören durch die dicken, verholzenden Stängel die Baumwollernte empfindlich (Abb. 3). Die Zweihäusigkeit erlaubt eine schnelle Verbreitung der Resistenz in empfindliche Populationen durch natürlichen Pollenflug oder auch verschiedene Kulturmaßnahmen (CULPEPPER et al., 2010). Die Verbreitung von *A. tuberculatus* und *A. rudis* im mittleren Westen der USA betrifft jetzt auch die Hauptanbauggebiete für Mais und Sojabohne in den USA (LEGLEITER und BRADLEY, 2008; TRANEL et al., 2010). Die Resistenz gegen Glyphosat an *A. palmeri* und *A. tuberculatus/A. rudis* ist bereits ein ernsthaftes Problem, zudem entwickeln diese Arten zunehmend Resistenzen gegen andere Wirkmechanismen und weisen multiple Resistenzen auf. Eine Untersuchung an Glyphosat-resistenten *A. tuberculatus*-Populationen in Illinois zeigte, dass ein großer Anteil ebenfalls resistent gegen Herbizide war, die die Protoporphyrinogen-oxidase (PPO; EC 1.3.3.4) und die Acetolactat-Synthase (ALS; EC 4.1.3.18) hemmen (TRANEL et al., 2010). Kombinierte Glyphosat- und ALS-Resistenz wurde für *A. palmeri* in Georgie (SOSNOSKIE et al., 2010) und North Carolina (WHITAKER, 2009) bestätigt. Nachdem diese multiple Resistenz bei *A. palmeri* auch in Illinois und Michigan gefunden wurde (HEAP, 2011), muss befürchtet werden, dass sich dieses konkurrenzstarke Unkraut zunehmend an nördlichere Gebiete adaptiert.

Eine weitere ernste Entwicklung ist die Bestätigung eines Glyphosat-resistenten, einjährigen Ungrases *Eleusine indica* (MUELLER et al., 2011). Ein konkreter Resistenzmechanismus konnte für diesen speziellen Biotyp aus den USA noch nicht gefunden werden. Untersuchungen an Glyphosat-resistenter *E. indica* aus Malaysia zeigten eine Mutation (Prolin gegen Serin-Austausch in Position 106) im EPSP (BAERSON et al., 2002). Die weitere Entwicklung von Resistenzen an diesem Ungras ist besonders wichtig zu verfolgen, besonders weil die Bekämpfungsmöglichkeiten durch multiple Resistenzen beschränkt sind. Glyphosat-resistente Populationen von *Sorghum halepense* sind seit 2007 bekannt, zuerst aus Arkansas und dann aus Mississippi und Louisiana (HEAP, 2011). Dennoch scheint sich die Resistenz bei dieser mehrjährigen Art nicht so schnell zu verbreiten wie bei den einjährigen *Amaranthus*-Arten. Der Resistenzmechanismus der Populationen aus Arkansas scheint in höherer Retention in den Blättern und dadurch bedingter reduzierter Translokation zu liegen (RIAR et al., 2011).

In mehreren Unkrautarten sind Glyphosat-resistente Biotypen selektiert worden, die sich zunehmend in den USA verbreiten. Schätzungen gehen von etwa 2,8 bis 4 Millionen ha betroffene Flächen aus (HEAP, 2010). In einer Umfrage mit Landwirten in sechs US-Bundesstaaten (Illinois, Indiana, Iowa, Mississippi, Nebraska und North Carolina) aus dem Jahr 2005, berichteten 12 bis 25 %, dass sie Glyphosat-Resistenzen auf ihren Betrieben hätten (GIVENS et al., 2011). Die Anzahl von Unkrautarten mit Glyphosat-Resistenz nimmt weiter zu. Das Auftreten verschiedener Resistenz-Mechanismen macht deutlich, dass auch dieses Herbizid nicht vor der Selektion resistenter Biotypen geschützt ist und wie wichtig es ist, die Wirkung dieses und aller anderen verfügbaren Herbizide zu erhalten.

## **2.2 Ursachen für die Entwicklung Glyphosat-resistenter Unkräuter in Reihenkulturen**

Die schnelle Verbreitung Glyphosat-toleranter Kulturen und der daraus folgende selektive Einsatz von Glyphosat beruht vor allem auf niedrigeren Kosten und sowohl besserer als auch einfacherer Unkrautbekämpfung (DUKE und POWLES, 2008). Die praktischen Erfahrungen zeigten bald, dass es möglich war, mit ein bis zwei Glyphosat-Applikationen, auch mit reduzierten Aufwandmengen, ein Sojabohnenfeld unkrautfrei zu halten, ohne Unkrautarten und das Stadium der Unkräuter genau beachten zu müssen. Das Ende des Patentschutzes erlaubte zudem eine noch kostengünstigere Unkrautkontrolle mit Glyphosat, trotz der höheren Saatgutkosten für Glyphosat-tolerante Kulturen. Glyphosat wurde dadurch das bevorzugte und meist alleinige Herbizid auf großen Teilen der Soja- und Baumwollflächen in den USA. So wurden 1995, im Jahr vor der Einführung Glyphosat-toleranter Sojabohnensorten, Herbizide aus acht verschiedenen Wirkstoffgruppen in Soja eingesetzt, 2005 war es auf 80 % der Fläche nur noch ein Wirkstoff (PRICE et al., 2011). Die Einführung dieses Produktionssystems war begleitet und verbunden mit einer Reduzierung oder kompletten Wegfall der mechanischen Unkrautbekämpfung vor bzw. nach der Aussaat, mit Kosten- und Zeitersparnis für den Landwirt und gleichzeitigen Nutzen für die Umwelt (DUKE und POWLES, 2008). Reduzierte Aufwandmengen von Glyphosat können in nur wenigen Generationen eine, wenn auch niedrige, Resistenz selektieren (BUSI und POWLES, 2009). Wenn die Praxis reduzierter Aufwandmengen das Überleben auch nur weniger Einzelpflanzen sehr konkurrenzstarker Arten erlaubt, wie bei den *Amaranthus*-Arten mit ihren spezifischen biologischen Eigenschaften, führt dies zur schnellen Entwicklung und Verbreitung von Resistenzen.

Der alleinige und wiederholte Einsatz eines hochwirksamen Herbizides in einer Monokultur, ohne weitere ergänzende Maßnahmen einer integrierten Unkrautbekämpfung, übt einen sehr starken Selektionsdruck auf Unkrautpopulationen aus und wird fast zwangsläufig zu einer Herbizidresistenz führen (POWLES, 2008). Das Verhalten der Landwirte spielt eine wichtige Rolle um Produktionssysteme mit hohem Selektionsdruck auf Herbizidresistenzen zu vermeiden. Eine Umfrage unter amerikanischen Landwirten hat gezeigt, dass diese zwar die Risiken von Monokulturen und dem alleinigen Einsatz von Glyphosat zur Unkrautbekämpfung kennen, ihr Verhalten aber nicht ändern, besonders im Süden der USA (FORESMAN und GLASGOW, 2008; GIVENS et al., 2011). Das Wissen über die hohe Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Problems führt nicht sofort zu Veränderungen im Verhalten und braucht längere Zeit, oft bis die ersten konkreten Resistenzen im Feld sichtbar werden. Dies scheint auch für die spezifische Situation in den USA zu gelten.

## **2.3 Management von Glyphosat-resistenten Unkräutern in Reihenkulturen in den USA**

Die Prinzipien und Strategien um Herbizidresistenzen zu vermeiden oder zu verzögern sind seit Jahren bekannt. Diese umfassen herbizide Wirkstoffwechsel und -kombinationen, vielseitige Fruchtfolge und das Arsenal weiterer Maßnahmen im Rahmen einer integrierten Unkrautbekämpfung (GRESSEL, 1991). Der Empfehlung einer bewusst reduzierten Kontrolle, um den Selektionsdruck zu reduzieren, kann aber im Fall von sehr konkurrenzstarken Unkräutern mit hoher Samenproduktion, wie bei *Amaranthus palmeri*, nicht gefolgt werden. So ist der Einsatz der Handhacke in der Baumwolle zur Bekämpfung überlebender, meist resistenter Unkräuter, zunehmende Praxis (CULPEPPER et al., 2010). Die Autoren empfehlen den Einsatz von Bodenherbiziden um die Nachauflaufferbizide zu entlasten. Eine Reduktion der jährlichen Samenzufuhr in den Bodenvorrat ist unverzichtbar für ein nachhaltiges Programm zum Management von Herbizidresistenzen, insbesondere wenn sich erste Anzeichen von Resistenz in einem Feld zeigen



(BECKIE, 2011). Eine aufschlussreiche Erfolgsgeschichte gibt es in Kanada. Der Anbau von Glyphosat-tolerantem Sommerraps (Canola) steht in der Fruchtfolge sowohl mit Weizen und Gerste als auch mit Glufosinat-tolerantem Sommerraps. Dadurch wird eine Monokultur mit Glyphosat-toleranten Kulturarten wie mit Mais, Sojabohne und Baumwolle in den USA vermieden (BECKIE, 2011). Der Einsatz von Glyphosat vor der Aussaat zur Bekämpfung schon aufgelaufener Unkräuter, wird zunehmend kombiniert mit Bodenherbiziden gegen wichtige Arten. Durch diese größere Vielfalt in den Kulturarten und herbiziden Wirkstoffen ist es gelungen, den Selektionsdruck niedrig zu halten. Die Vielfalt der eingesetzten Maßnahmen ist für den langfristigen Erfolg jedweder Herbizidprogramme und Maßnahmen zur Unkrautregulierung von entscheidender Wichtigkeit (POWLES, 2008). Diese umfassen den Einsatz von Herbiziden mit verschiedenen Wirkungsmechanismen im Wechsel und in Kombinationen, mechanische Bekämpfung (wendende Bodenbearbeitung, Mähen, Handhacke, etc.) und alle weiteren biologischen Maßnahmen (Fruchtfolge, Aussattermin, Sortenwahl, Saatstärke).

### 3. Glyphosat-Resistenzen in Europa

Bisher wurden in Ackerbaukulturen in Europa noch keine Glyphosat-resistenten Unkräuter bestätigt. Die bekannten Fälle, *Conyza canadensis* und *Lolium*-Arten, wurden in Obstanlagen (hauptsächlich Oliven), Weinreben, entlang Gleisanlagen und in Spargel gefunden (Tab. 1). Dies entspricht den wichtigsten Einsatzgebieten in Europa, Baumkulturen und Nicht-Kulturland, da gegenwärtig keine Glyphosat-toleranten Ackerbaukulturen zugelassen sind. Die gegenwärtigen Probleme sind regional eng begrenzt im Vergleich zu der Situation in den ackerbaulichen Reihenkulturen in den USA. Die Kontrolle der Glyphosat-resistenten Unkräuter in den mehrjährigen Obstanlagen ist möglich durch den Einsatz alternativer Herbizide.

### 4. Lehren für die Unkrautkontrolle in Europa

Die Hauptbotschaft ist, dass kein herbizider Wirkstoff gegen die Selektion und Verbreitung resistenter Biotypen immun ist. Wenn die Unkrautbekämpfung kontinuierlich über Jahre auf großen Gebieten allein auf den Einsatz des immer gleichen Wirkstoffes reduziert wird, muss dies ein Alarmsignal sein. Es gilt weitere ergänzende Maßnahmen in Unkraut-Management-Strategien zu integrieren, nur so kann die Wirksamkeit der vorhandenen Herbizide langfristig erhalten werden.

**Tab. 1** Glyphosat-resistente Unkräuter in Europa und Jahr der Bestätigung.

**Tab. 1** *Glyphosate resistant weeds in Europe and year confirmed.*

Unkraut	Land	Jahr	Kultur
<i>Conyza bonariensis</i>	Spanien	2004	Obstanlagen
	Portugal	2010	Obstanlagen
	Griechenland	2010	Obstanlagen
<i>C. canadensis</i>	Spanien	2006	Obstanlagen
	Tschechien	2007	Gleisanlagen
<i>C. sumatrensis</i>	Spanien	2009	Obstanlagen
<i>Lolium multiflorum</i>	Spanien	2006	Obstanlagen
<i>L. rigidum</i>	Frankreich	2005	Spargel, Obstanlagen, Rebanlagen
	Spanien	2006	Obstanlagen
	Italien	2007	Obstanlagen, Rebanlagen

Quelle: Heap, 2011: Suchbegriff "G (glycines)", online Zugriff am 23. Dezember 2011 auf <http://www.weedscience.org/Summary/UspeciesMOA.asp?IstMOAID=12&FmHRACGroup=Go>.

### Literatur

- BAERSON, S.R., D.J. RODRIGUEZ, M. TRAN, Y.M. FENG, N.A. BIEST UND G.M. DILL, 2002: GLYPHOSATE-RESISTANT GOOSEGRASS. IDENTIFICATION OF A MUTATION IN THE TARGET ENZYME 5-ENOLPYRUVYLSHIKIMATE-3-PHOPHSATE SYNTHASE. PLANT PHYSIOLOGY **129**, 1265–1275.

- BECKIE, H.J., 2011: HERBICIDE-RESISTANT WEED MANAGEMENT: FOCUS ON GLYPHOSATE. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **67**, 1037–1048.
- BUSI, R. UND S.B. POWLES, 2009: EVOLUTION OF GLYPHOSATE RESISTANCE IN A *LOLIUM RIGIDUM* POPULATION BY GLYPHOSATE SELECTION AT SUBLETHAL DOSES. *HEREDITY* **103**, 318–325.
- CULPEPPER, A.S., T.L. GREY, W.K. VENCILL, J.M. KICHLER, T.M. WEBSTER, S.M. BROWN, A.C. YORK, J.W. DAVIS UND W.W. HANNA, 2006: GLYPHOSATE-RESISTANT PALMER AMARANTH (*AMARANTHUS PALMERI*) CONFIRMED IN GEORGIA. *WEED SCIENCE* **54**, 620–626.
- CULPEPPER, A.S., 2008: PERSONAL COMMUNICATIONS.
- DUKE, S.O. UND S.B. POWLES, 2008: GLYPHOSATE: A ONCE-IN-A-CENTURY HERBICIDE. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **64**, 319–325.
- FENG, P.C., M. TRAN, T. CHIU, R.D. SAMMONS, G.R. HECK UND C.A. CAJACOB, 2004: INVESTIGATION INTO GLYPHOSATE-RESISTANT HORSEWEED (*CONYZA CANADENSIS*): RETENTION, UPTAKE, TRANSLOCATION, AND METABOLISM. *WEED SCIENCE* **52**, 498–505.
- FORESMAN, C. UND L. GLASGOW, 2008: US GROWER PERCEPTIONS AND EXPERIENCES WITH GLYPHOSATE-RESISTANT WEEDS. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **64**, 388–391.
- HEAP, I., 2010: ZITIERT IN: "FARMERS COPE WITH ROUNDUP-RESISTANT WEEDS". W. NEUMANN UND A. POLLACK, PUBLISHED 03 MAY 2010, NEW YORK TIMES. ONLINE ZUGRIFF AM 23. DEZ. 2011 AUF [HTTP://WWW.NYTIMES.COM/2010/05/04/BUSINESS/ENERGY-ENVIRONMENT/04WEED.HTML](http://www.nytimes.com/2010/05/04/business/energy-environment/04weed.html).
- HEAP, I., 2011: INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS, ONLINE ZUGRIFF 16.DEZ. 2011 AUF [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG](http://www.weedscience.org).
- GAINES T.A., W. ZHANG, D. WANG, B. BUKUN, S.T. CHISHOLM, D.L. SHANER, S.J. NISSEN, W.L. PATZOLDT, P.J. TRANEL, A.S. CULPEPPER, T.L. GREY, T.M. WEBSTER, W.K. VENCILL, R.D. SAMMONS, J. JIANG, C. PRESTON, J.E. LEACH UND P. WESTRA, 2010: GENE AMPLIFICATION CONFERS GLYPHOSATE RESISTANCE IN *AMARANTHUS PALMERI*. *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE USA* **107**, 1029–34.
- GIVENS, W.A., D.R. SHAW, M.E. NEWMAN, S.C. WELLER, B.G. YOUNG, R.G. WILSON, M.D.K. OWEN UND D.L. JORDAN, 2010: BENCHMARK STUDY ON GLYPHOSATE-RESISTANT CROPPING SYSTEMS IN THE UNITED STATES. PART 3: GROWER AWARENESS, INFORMATION SOURCES, EXPERIENCES AND MANAGEMENT PRACTICES REGARDING GLYPHOSATE-RESISTANT WEEDS. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **67**, 758–770.
- POWLES, S.B., 2008: EVOLVED GLYPHOSATE-RESISTANT WEEDS AROUND THE WORLD: LESSONS TO BE LEARNED. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **64**, 360–365.
- PRICE, A.J., K.S. BALKCOM, S.A. CULPEPPER, J.A. KELTON, R.L. NICHOLS UND H. SCHOMBERG, 2011: GLYPHOSATE-RESISTANT PALMER AMARANTH: A THREAT TO CONSERVATION TILLAGE. *JOURNAL OF SOIL WATER CONSERVATION* **66**, 265–275.
- RIAR, D.S., J.K. NORSWORTHY, D.B. JOHNSON, R.C. SCOTT UND M. BAGAVATHIANNAN, 2011: GLYPHOSATE RESISTANCE IN A JOHNSONGRASS (*SORGHUM HALEPENSE*) BIOTYPE FROM ARKANSAS. *WEED SCIENCE* **59**, 299–304.
- SOSNOSKIE, L.M., J.M. KICHLER, R.D. WALLACE UND A.S. CULPEPPER, 2011. MULTIPLE RESISTANCE IN PALMER AMARANTH TO GLYPHOSATE AND PYRITHIOPAC CONFIRMED IN GEORGIA. *WEED SCIENCE* **59**, 321–325.
- STECKEL, L.E., C.L. MAIN UND T.C. MUELLER, 2010: GLYPHOSATE-RESISTANT HORSEWEED IN THE UNITED STATES (CHAPTER 10). IN: NANDULA, V.K. (ED.): GLYPHOSATE RESISTANCE IN CROPS AND WEEDS: HISTORY, DEVELOPMENT, AND MANAGEMENT. HOBOKEN, NJ: JOHN WILEY & SONS, INC. PP. 185–193.
- TRANEL, P.J., C.W. RIGGINS, M.S. BELL UND A.G. HAGER, 2011: HERBICIDE RESISTANCES IN *AMARANTHUS TUBERCULATUS*: A CALL FOR NEW OPTIONS. *JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY* **59**, 5808–5812.
- VANGESSEL, M.J., 2001: GLYPHOSATE-RESISTANT HORSEWEED FROM DELAWARE. *WEED SCIENCE* **49**, 703–705.
- WHITAKER, J.R., 2009: DISTRIBUTION, BIOLOGY, AND MANAGEMENT OF GLYPHOSATE-RESISTANT PALMER AMARANTH IN NORTH CAROLINA [ONLINE]. PHD. THESIS NORTH CAROLINA STATE UNIV., RALEIGH, NC. VERFÜGBAR ONLINE AUF [HTTP://WWW.LIB.NCSU.EDU/THESES/AVAILABLE/ETD-03272009-143230](http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/ETD-03272009-143230).(BESTÄTIGT 25 DEC. 2011.

## ACCcase cross-resistance in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) sub-populations from Oregon, US

ACCcase-Kreuzresistenz bei Subpopulationen des Italienischen Weidelgrases (*Lolium multiflorum*) in Oregon, USA

Bianca Assis Barbosa Martins\*, Elena Sanchez-Olguin, Alejandro Perez-Jones & Carol Mallory-Smith  
Department of Crop and Soil Science, Crop Science Building 107, Oregon State University, Corvallis, OR 97331-3002, US

\*Corresponding author, babmartins@yahoo.com.br

DOI: 10.5073/jka.2012.434.021

### Summary

ACCcase-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) is one of the most troublesome weeds in US wheat production systems. This study had the objective of determining the resistance pattern of three sub-populations selected from a winter wheat field with history of ACCcase-inhibitor herbicides applications in Oregon. A greenhouse experiment was conducted to test four ACCcase-inhibitor herbicides for the control of the three sub-populations: Pinoxaden, clethodim, sethoxydim and clodinafop. All three sub-populations were cross-resistant to the commercial dose of at least two herbicides. One sub-population was cross-resistant to all herbicides tested. This resistance pattern highlights the need of studying different ACCcase herbicides for cross-resistance, as well as herbicides with different modes of action for multiple-resistance to control these sub-populations.

**Keywords:** Acetyl-coA carboxylase, aryloxyphenoxypropionate, cyclohexanodione, herbicide resistance

### Zusammenfassung

ACCcase-resistentes Italienisches Weidelgras (*Lolium multiflorum*) ist eines der problematischsten Ungräser in nordamerikanischen Weizenanbausystemen. Ziel dieser Arbeit ist die Bestimmung des Resistenzmusters dreier Subpopulationen, die aus einem Winterweizenfeld mit einer ausgeprägten Historie von Herbizidapplikationen mit ACCcase-Inhibitoren stammten. Ein Gewächshausversuch wurde durchgeführt um die Bekämpfung der drei Subpopulationen mit vier ACCcase-Inhibitoren zu untersuchen: Pinoxaden, Clethodim, Sethoxydim und Clodinafop. Alle drei Subpopulationen zeigten bei einer Applikation mit der empfohlenen Aufwandmenge Kreuzresistenzen gegen mindestens zwei der getesteten Wirkstoffe. Eine Subpopulation erwies sich als kreuzresistent gegen alle vier getesteten Wirkstoffe. Die beobachteten Resistenzmuster unterstreichen die dringende Notwendigkeit der Erforschung verschiedener ACCcase-Inhibitoren bezüglich ihrer Kreuzungsresistenzmuster, sowie die Untersuchung von Herbiziden mit unterschiedlichen Wirkungsweisen auf vorhandene multiple Resistenzen mit dem Ziel der Bekämpfung dieser Subpopulationen.

**Stichwörter:** Acetyl-coA-carboxylase, Aryloxyphenoxypropionate, Cyclohexanodione, Herbizidresistenz

### 1. Introduction

Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) is an annual, outcrossing weed species that infests cereal fields and orchards, particularly in the Pacific Northwest and Southeastern United States. It was introduced into North America from Europe as forage grass (LEIBL and WORSHAM, 1987). Since then, this species has become a weed in winter cereal crops, such as wheat, grass seed crops and hazelnut orchards (STANGER and APPLEBY, 1989; PEREZ-JONES et al., 2005). Chemical control is the only effective practical strategy to control *L. multiflorum* in wheat (BAILEY and WILSON, 2003). Herbicides that inhibit the enzyme Acetyl-CoA carboxylase (ACCcase inhibitors) were first introduced in the late 1970's, and provide excellent control of grass weeds in both cereal and broadleaf crops (DEVINE and SHIMABUKURO, 1994). ACCcase inhibitors are also known as HRAC group A herbicides or group 1 herbicides (MALLORY-SMITH and RETZINGER, 2003). There are three chemical classes for ACCcase-inhibitor herbicides: Aryloxyphenoxypropionates (APPs), cyclohexanediones (CHDs) and phenylpyrazolines (PPZ). The primary target site for APP and CHD herbicides is the CT domain of the plastidic ACCcase, which has two regions that are critical for sensitivity to these herbicides (DELYE et al., 2005). Pinoxaden (PPZ), a phenylpyrazoline herbicide introduced in 2006, is a relatively new class of ACCcase inhibitors. Pinoxaden is also applied post-emergence and is effective in controlling several grass species, including *L. multiflorum* in wheat and other crops. Good crop tolerance to these herbicides, coupled

with the excellent efficacy on several grass weed species and the introduction of a wide number of graminicides, led to the widespread and repeated use of these herbicides in a variety of crops (DEVINE and SHIMABUKURO, 1994). Resistance to ACCase inhibitors was first reported in 1982 (HEAP and KNIGHT, 1986) and a total of 41 weed species have been identified with resistance to ACCase inhibitors worldwide. Worldwide, there has been an increase in the resistance to the ACCase inhibiting aryloxyphenoxypropionate (APP) and cyclohexanodione (CHD). The appearance of resistance to ACCase inhibitors in a number of grass weed species including *Alopecurus myosuroides* (DELYE et al., 2005), *Lolium multiflorum* (KUK et al., 2008) and *Avena fatua* (ULUDAG et al., 2008) has been attributed to the repeated use of APP or CHD herbicides. Three principal mechanisms have been proposed to explain resistance to the APP or CHD herbicides in weed biotypes (DEVINE and SHIMABUKURO, 1994). An enhanced ability to metabolize the herbicide, which has implicated two types of enzyme, cytochrome P450 monooxygenase and glutathione S-transferases, was determined to be the mechanism of resistance in a biotype of *Digitaria sanguinalis* (HIDAYAT and PRESTON, 1997) and two biotypes of *Alopecurus myosuroides* (HALL et al., 1997; MENEZES and DEPRADO, 1996). Elevated levels of the enzyme glutathione transferase contributed to the resistance of *A. myosuroides* biotypes to the APP herbicide fenoxaprop-ethyl (CUMMINS et al., 1997). Increased herbicide metabolism also played some role in the resistance to ACCase inhibitors in *A. fatua* (MANEECHOTE et al., 1997) and *Lolium rigidum* (HOLTUM et al., 1991) biotypes. Recovery of diclofop-induced depolarization of cell membrane potential after removal of the herbicide from the external medium was found to be correlated with resistance in *L. rigidum* biotypes from Spain and Australia (DEPRADO et al., 1999; HAUSLER et al., 1991). More studies are necessary to determine if such membrane recovery response provides a resistance mechanism or has only a secondary effect. SEEFELDT et al. (1996) found that the resistance in two *A. fatua* biotypes was due to ACCase alteration rather than differential absorption, translocation, or metabolism of diclofop. To date, no resistant weed biotypes have been identified that exhibit differences in absorption or translocation of APP or CHD herbicides when compared to susceptible biotypes (DEVINE, 1997). In most cases where the resistance mechanism has been determined, it is due to the presence of an insensitive form of ACCase caused by point mutations in the gene encoding the CT domain of plastidic ACCase (DEVINE, 1997). ACCase-resistance in *Lolium* spp. threatens cereal production in Australia, Canada, Chile, France, Saudi Arabia, South Africa, Spain, the United Kingdom, and the USA (HEAP, 1999). Therefore, this species evolved resistance to ACCase herbicides within a short period. Greenhouse experiments were conducted in order to identify resistance patterns in a *L. multiflorum* population from a winter wheat field from Oregon to CHD, APP and PPZ classes of herbicides.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Plant Material

Two populations of *L. multiflorum* were used in this study: A known susceptible (S) *L. multiflorum* and a suspected resistant (R) *L. multiflorum* sub-population originally from a winter wheat field from Yamhill County, Oregon, USA. On this field, ACCase-inhibitor herbicides had been used to control *L. multiflorum* repeatedly over five years.

### 2.2 Whole-plant bioassay

Seeds from the resistant *L. multiflorum* population were collected in the field. A greenhouse herbicide screening was conducted from February 2009 to April 2009 at Oregon State University, USA, with the objective of confirming resistance. Seeds were germinated in 27.30 cm x 53.98 cm trays containing commercial potting mix (Sunshine Mix #1, Sun Gro Horticulture Inc, Bellevue, WA, USA). Water was provided as necessary and plants were grown under greenhouse conditions of 32/25 °C day/night temperature and photoperiod of 14 hours. Herbicide treatments were applied at the two-leaf growth stage, using an experimental sprayer delivering 185 l/ha at 200 kPa. Plants were treated with doses corresponding to the recommended field rate (g a.i./ha) of four ACCase inhibitor herbicides (Tab. 1). At 30 days after treatment (DAT), plants were visually evaluated, classified and counted as dead or alive. Surviving plants were classified in three groups based on their resistance patterns. Each group

was defined as a sub-population. A sub-population was considered resistant when mortality was less than 50 %. The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replications and was conducted twice.

**Tab. 1** Herbicides and the respective doses (g a.i./ha) used in the experiment.

**Tab. 1** *Herbizide und die entsprechenden Aufwandmengen (g a.i./ha), die im Experiment eingesetzt wurden.*

Pinoxaden	59.4
Clethodim	140.1
Sethoxydim	235.4
Clodinafop	70

### 3. Results

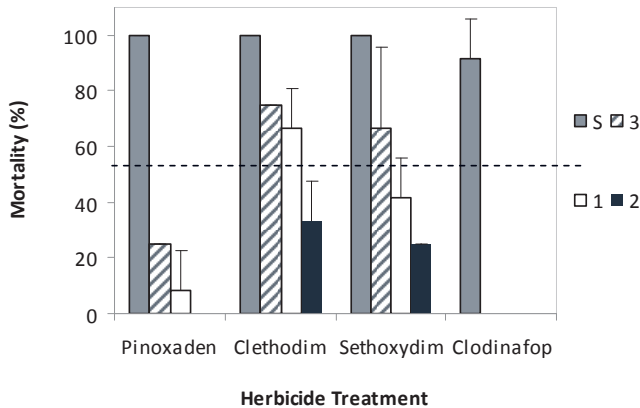
#### 3.1 Single-dose whole-plant experiment for confirmation of herbicide resistance

Visual evaluation at 30 DAT with the ACCase-inhibitor herbicides identified three resistant sub-populations at the recommended field rate of each herbicide. The susceptible *L. multiflorum* population was effectively controlled by all four herbicides. The three sub-populations (1, 2 and 3) were resistant to at least two of the four herbicides tested (Tab. 2; Fig. 1). For the APP herbicide clodinafop and the PPZ herbicide pinoxaden, plant mortality was 0 for all sub-populations. For the PPZ herbicide pinoxaden, plant mortality was 8 %, 0 % and 25 % for sub-populations 1, 2 and 3, respectively. Sub-populations 1 and 3 were susceptible to the CHD herbicide clethodim and had 67 % and 75 % mortality, respectively. Sub-population 1 had a lower resistance level when compared with the other sub-populations, with 42 % mortality when treated with sethoxydim. Sub-population 2 was resistant to all four herbicides tested, and had 0 %, 33 %, 25 % and 0 % mortality for the herbicides pinoxaden, clethodim, sethoxydim and clodinafop, respectively. Sub-population 3 also was susceptible when treated with sethoxydim with 67 % mortality. Clethodim was the most effective herbicide for control of the *L. multiflorum* sub-populations compared to the other herbicides tested. Sub-population 2 was the only one resistant to clethodim.

**Tab. 2** Patterns of ACCase-inhibiting herbicide resistance in *L. multiflorum*.

**Tab. 2** *Muster der Resistenz bei ACCase-Inhibitoren und *L. multiflorum*.*

	Pinoxaden	Clethodim	Sethoxydim	Clodinafop
1	R	S	R	R
2	R	R	R	R
3	R	S	S	R
S	S	S	S	S



**Fig. 1** *L. multiflorum* mortality percentage per ACCase inhibitor herbicide by sub-population at 30 DAT. Dashed line indicates 50 % mortality.

**Abb. 1** Prozent Mortalität bei drei Sub-Populationen von *L. multiflorum* nach Applikation mit vier ACCase-Inhibitoren, 30 DAT. Die gestrichelte Linie markiert eine Mortalität von 50 %.

#### 4. Discussion

This study confirmed different resistance patterns in a suspected resistant *L. multiflorum* population. These sub-populations are originally from the same winter wheat field from Oregon. This field grows consecutively winter wheat with oats as the spring rotational crop. The field has a history of ACCase inhibitor herbicides applications. The *L. multiflorum* sub-populations from this winter wheat field survived applications of pinoxaden, clethodim, sethoxydim, clodinafop, tralkoxydim and fenoxaprop. The grass weed management in recent years in this field has been mainly an application of an ACCase inhibitor twice per year. The frequency of ACCase inhibitor herbicides use lead to the evolution of these *L. multiflorum* sub-populations with cross-resistance to APP, CHD and PPZ herbicides. Indeed, grass weeds have frequently exhibited cross-resistance to APP and CHD herbicides (SEEFELDT et al., 1994). ACCase inhibitor resistance is one of the most common modes of action reported in grass weed resistance (HEAP, 2011) and it has been established that only a few years of use are enough to build resistance. Previous reports have identified resistant biotypes after only few years of use of ACCase-inhibitor herbicides (HEAP and KNIGHT, 1986). This study determined that one of the *L. multiflorum* sub-populations is cross-resistant to four herbicides. Evaluation of resistance patterns is necessary to determine alternative herbicides that can be used to manage resistant populations (KUK et al., 2008). In this study, we tested three classes of ACCase-inhibitor herbicides, aryloxyphenoxypropionates (clodinafop), cyclohexanediones (clethodim and sethoxydim) and phenylpyrazolines (pinoxaden). Sethoxydim is not selective for cereal crops and is registered for grass control in dicotyledoneous crops (CAMPBELL and PENNER, 1985); however, two of the sub-populations tested (1 and 2) were resistant to this herbicide. Resistance to pinoxaden, clethodim and clodinafop could probably be due to target-site mutations. In most cases where the resistance mechanism has been determined, it is caused by to the presence of an insensitive form of ACCase caused by point mutations in the gene encoding the CT domain of plastidic ACCase (DEVINE, 1997). In a few cases, graminicide resistance has been shown to be caused by other mechanisms (HALL et al., 1997; MENEZES and DEPRADO, 1996; DEPRADO et al., 1999). For example, an insensitive ACCase has been identified as the mechanism of resistance in biotypes of *A. myosuroides* (COCKER et al., 1999), *A. fatua* (SEEFELDT et al., 1996), *Avena sterilis* (MANEECHOTE et al., 1994), *Digitaria ischaemum* (KUK et al., 1999), *Eleusine indica* (LEACH et al., 1995), *L. multiflorum* (GRONWALD et al., 1992), *L. rigidum* (TARDIF et al., 1993), *Phalaris minor* (TAL et al., 1996), *Setaria faberi* (SHUKLA et al., 1997), *Setaria viridis* (MARLES et al., 1993) and *Sorghum halepense* (MARLES et al., 1993). A new chemical family PPZ was released in 2006 for grass weed control. The PPZ herbicide pinoxaden was used in the wheat field where the tested sub-populations were collected. This indicates that cross-resistance to this herbicide evolved within a short period (less

than 5 years). The broad use of imidazolinone-resistant wheat varieties in Oregon highlights the need of determining multiple-resistance patterns of *L. multiflorum* to ALS and ACCase inhibitor herbicides. This would be important to facilitate an integrated system for management of these resistant weed populations. Ongoing studies are taking place to elucidate the cross-resistance mechanism to ACCase-inhibitor herbicides in these sub-populations, exploring the target site-based mechanism.

## References

- BASF, 2000: POAST HERBICIDE LABEL. C AND P PRESS.
- BAILEY, W.A. AND H.P. WILSON, 2003: CONTROL OF ITALIAN RYEGRASS (*LOLIUM MULTIFLORUM*) IN WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM*) WITH POST-EMERGENCE HERBICIDES. *WEED TECHNOLOGY* **17**, 534-542.
- CAMPBELL, J.R. AND D. PENNER, 1985: ABIOTIC TRANSFORMATIONS OF SETHOXYDIM. *WEED SCIENCE* **33**, 435-439.
- COCKER K.M., S.R. MOSS AND J.O.D. COLEMAN, 1999: MULTIPLE MECHANISMS OF RESISTANCE TO FENAXOPROP-P-ETHYL IN UNITED KINGDOM AND OTHER EUROPEAN POPULATIONS OF HERBICIDE-RESISTANT *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK-GRASS). *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **65**, 169-180.
- CUMMINS, I., S. MOSS, D.J. COLE AND R. EDWARDS, 1997: GLUTATHIONE TRANSFERASES IN HERBICIDE-RESISTANT AND HERBICIDE-SUSCEPTIBLE BLACK-GRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*). *PESTICIDE SCIENCE* **51**, 244-250.
- DÉLYE C, X.Q. ZHANG, S. MICHEL, A. MATEJICEK AND S.B. POWLES, 2005: MOLECULAR BASES FOR SENSITIVITY TO ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITORS IN BLACK-GRASS. *PLANT PHYSIOLOGY* **137**, 794-806.
- DEPRADO, J.L., R.A. DEPRADO AND R.H. SHIMABUKURO, 1999: THE EFFECT OF DICLOFOP ON MEMBRANE POTENTIAL, ETHYLENE INDUCTION, AND HERBICIDE PHYTOTOXICITY IN RESISTANT AND SUSCEPTIBLE BIOTYPES OF GRASSES. *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **63**, 1-14.
- DEVINE, M.D. AND R.H. SHIMABUKURO, 1994: RESISTANCE TO ACETYL COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITING HERBICIDES. IN *HERBICIDE RESISTANCE IN PLANTS: BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY* (S.B. POWLES AND J.A.M. HOLTUM, Eds.). LEWIS PUBLISHERS, BOCA RATON, FL, 141-169.
- DEVINE, M.D., 1997: MECHANISMS OF RESISTANCE TO ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITORS: A REVIEW. *PESTICIDE SCIENCE* **51**, 259-264.
- GRONWALD, J.W., C.V. EBERLEIN, K.J. BETTS, R.J. BAERG, N.J. EHLKE AND D.L. WYSE, 1992: MECHANISM OF DICLOFOP RESISTANCE IN AN ITALIAN RYEGRASS (*LOLIUM MULTIFLORUM* LAM.) BIOTYPE. *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **44**, 126-139.
- HALL, L.M., S.R. MOSS AND S.B. POWLES, 1997: MECHANISMS OF RESISTANCE TO ARYLOXYPHENOXYPROPIONATE HERBICIDES IN TWO RESISTANT BIOTYPES OF *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACKGRASS): HERBICIDE METABOLISM AS A CROSSRESISTANCE MECHANISM. *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **57**, 87-98.
- HAUSLER, R.E., J.A.M. HOLTUM AND S.B. POWLES, 1991: CROSS-RESISTANCE TO HERBICIDES IN ANNUAL RYEGRASS (*LOLIUM RIGIDUM*). IV. CORRELATION BETWEEN MEMBRANE EFFECTS AND RESISTANCE TO GRAMINICIDES. *PLANT PHYSIOLOGY* **97**, 1035-1043.
- HEAP I.M. AND R.A. KNIGHT, 1986: THE OCCURRENCE OF HERBICIDE CROSS-RESISTANCE IN A POPULATION OF ANNUAL RYEGRASS *LOLIUM RIGIDUM* RESISTANT TO DICLOFOP-METHYL. *AUSTRALIAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH* **37**, 149-156.
- HEAP, I., 1999: THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. ONLINE. INTERNET. AVAILABLE AT [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG/PAPER/RESIST97.HTM](http://www.weedscience.org/paper/resist97.htm). ACCESSED OCTOBER 15, 2011.
- HIDAYAT, I. AND C. PRESTON, 1997: ENHANCED METABOLISM OF FLUAZIFOP ACID IN A BIOTYPE OF *DIGITARIA SANGUINALIS* RESISTANT TO THE HERBICIDE FLUAZIFOP-P-BUTYL. *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **57**, 137-146.
- HEAP, I., 2011: THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. ONLINE. INTERNET. AVAILABLE AT [WWW.WEEDSCIENCE.COM](http://www.weedscience.com). ACCESSED OCTOBER 16, 2011.
- HOLTUM, J.A.M., J.M. MATTHEWS, R.E. HAUSLER, D.R. LILJEGREN AND S.B. POWLES, 1991: CROSS-RESISTANCE TO HERBICIDES IN ANNUAL RYEGRASS (*LOLIUM RIGIDUM*). III. ON THE MECHANISM OF RESISTANCE TO DICLOFOP-METHYL. *PLANT PHYSIOLOGY* **97**, 1026-1034.
- KUK, Y.I., N.R. BURGOS AND R.C. SCOTT, 2008: RESISTANCE PROFILE OF DICLOFOPRESISTANT ITALIAN RYEGRASS (*LOLIUM MULTIFLORUM*) TO ACCASE- AND ALS-INHIBITING HERBICIDES IN ARKANSAS, USA. *WEED SCIENCE* **56**, 614-623.
- KUK, Y.J. WU, J.F. DERR AND K.K. HATZIOS, 1999: MECHANISM OF FENOXAPROP RESISTANCE IN AN ACCESSION OF SMOOTH CRABGRASS (*DIGITARIA ISCHAEMUM*). *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **64**, 112-123.
- LEACH, G.E., M.D. DEVINE, R.C. KIRKWOOD AND G. MARSHALL, 1995: TARGET ENZYME-BASED RESISTANCE TO ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE INHIBITORS IN *ELEUSINE INDICA*. *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **51**, 129-136.
- LIEBL, R. AND A.D. WORSHAM, 1987: EFFECT OF CHLORSULFURON ON THE MOVEMENT AND FATE OF DICLOFOP IN ITALIAN RYEGRASS (*LOLIUM MULTIFLORUM*) AND WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM*). *WEED SCIENCE* **35**, 623-628.
- MALLORY-SMITH, C.A. AND E.J. RETZINGER, 2003: REVISED CLASSIFICATION OF HERBICIDES BY SITE OF ACTION FOR WEED RESISTANCE MANAGEMENT STRATEGIES. *WEED TECHNOLOGY* **17**, 605-619.

- MANEECHOTE, C., C. PRESTON AND S.B. POWLES, 1997: A DICLOFOP-METHYLRESISTANT *AVENA STERILIS* BIOTYPE WITH A HERBICIDE-RESISTANT ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE AND ENHANCED METABOLISM OF DICLOFOP-METHYL. *PESTICIDE SCIENCE* **49**, 105-114.
- MARLES, M.A.S., M.D. DEVINE AND J.C. HALL, 1993: HERBICIDE RESISTANCE IN *SETARIA VIRIDIS* CONFERRED BY A LESS SENSITIVE FORM OF ACETYL COENZYME A CARBOXYLASE. *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **46**, 7-14.
- MENENDEZ, J. AND R. DEPRADO, 1996: DICLOFOP-METHYL CROSS-RESISTANCE IN A CHLORTOLURON RESISTANT BIOTYPE OF *ALOPECURUS MYOSUROIDES*. *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **56**, 123-133.
- PEREZ-JONES, A., K.W. PARK, J. COLQUHOUN, C. MALLORY-SMITH AND D. SHANER, 2005: IDENTIFICATION OF GLYPHOSATE-RESISTANT ITALIAN RYEGRASS (*LOLIUM MULTIFLORUM*) IN OREGON. *WEED SCIENCE* **53**, 775-779.
- POWLES, S. AND PRESTON, C., 2011. INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. ONLINE. INTERNET. AVAILABLE AT [HTTP://WWW.HRACGLOBAL.COM/PUBLICATIONS/HERBICIDECROSSRESISTANCEANDMULTIPLERESISTANCE/TABID/224/DEFAULT.ASPX](http://www.hracglobal.com/publications/herbicidecrossresistanceandmultipleresistance/tabid/224/default.aspx). ACCESSED OCTOBER 15, 2011.
- SEEFELDT, S.S., E.P. FUERST, D.R. GEALY, A. SHUKLA, G.P. IRZYK AND M.D. DEVINE, 1996: MECHANISMS OF RESISTANCE TO DICLOFOP OF TWO WILD OAT (*AVENA FATUA*) BIOTYPES FROM THE WILLAMETTE VALLEY OF OREGON. *WEED SCIENCE* **44**, 776-781.
- SEEFELDT, S.S., GEALY, D.R., BREWSTER, B.D. AND FUERST, E.P., 1994: CROSS-RESISTANCE OF SEVERAL DICLOFOP-RESISTANT WILDOAT (*AVENA FATUA*) BIOTYPES FROM THE WILLAMETTE VALLEY OF OREGON. *WEED SCIENCE* **42**, 430-437.
- SHUKLA, A., S. DUPONT AND M.D. DEVINE, 1997: RESISTANCE TO ACCASE-INHIBITOR HERBICIDES IN WILD OAT: EVIDENCE FOR TARGET SITE-BASED RESISTANCE IN TWO BIOTYPES FROM CANADA. *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **57**, 147-155.
- STANGER C. AND A. APPLEBY, 1989: ITALIAN RYEGRASS (*LOLIUM MULTIFLORUM*) ACCESSIONS TOLERANT TO DICLOFOP. *WEED SCIENCE* **37**, 350-352.
- TAL, A., S. ZARKA AND B. RUBIN, 1996: FENOXAPROP-P RESISTANCE IN *PHALARIS MINOR* CONFERRED BY AN INSENSITIVE ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE. *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **56**, 134-140.
- TARDIF, F.J., J.A.M. HOLTUM AND S.B. POWLES, 1993: OCCURRENCE OF A HERBICIDE-RESISTANT ACETYL-COENZYME A CARBOXYLASE MUTANT IN ANNUAL RYEGRASS (*LOLIUM RIGIDUM*) SELECTED BY SETHOXYDIM. *PLANTA* **190**, 176-181.
- ULUDAG, A., K.W. PARK, J. CANNON AND C.A. MALLORY-SMITH, 2008: CROSS RESISTANCE OF ACETYL-CoA CARBOXYLASE (ACCase) INHIBITOR-RESISTANT WILD OAT (*AVENA FATUA*) BIOTYPES IN THE PACIFIC NORTHWEST. *WEED TECHNOLOGY* **22**, 142-145.



## **Sektion 2: Precision Farming und Anwendungstechnik**

### **Section 2: Precision farming and application technology**

## **Using bi-spectral imaging technology for simulated online-weed control in winter wheat and maize**

*Simulation einer online Unkrautkontrolle in Winterweizen und Mais unter Verwendung von Bisppektralkameras*

Markus Sökefeld\*, Martina Keller, Martin Weis, Christoph Gutjahr & Roland Gerhards

Institute for Phytomedicine 360, Department of Weed Science, University of Hohenheim, Otto-Sander-Strasse 5, D-70599 Stuttgart, Germany

\*Corresponding author, markus.soekefeld@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.022

### **Summary**

In spring 2011, two field trials on site-specific weed control in winter wheat and maize were carried out at Ihinger Hof research station of the University of Hohenheim. For the image acquisition, bi-spectral cameras were mounted on a vehicle. These cameras are able to take images free from disturbances by soil, mulch and stones. Images and the corresponding GPS-data were stored on-the-go. Afterwards, the images were analyzed by a weed recognition software. Weed infestation was mapped in consideration of weed species and weeds grouped according to their herbicide sensitivity. In order to simulate an online herbicide application, a one-sided moving average of order five was used for the weed mapping. This kind of rearward calculation uses only the data of weed infestation which were already assessed behind or directly in the current position of the vehicle. The calculated weed distribution maps were checked by visual grid sampling. Herbicide application maps were generated by applying weed thresholds on the weed distribution maps. The herbicide application based on the maps was conducted by a multiple sprayer which allows the application of up to three herbicides independently from each other in a single pass across the field. Later on, the performance of the herbicide application was controlled again by visual grid sampling. Compared to a uniform herbicide application, the site-specific weed control saved 83 % and 58 % herbicides respectively in winter wheat and 66 % in maize. The average efficacy of the site-specific herbicide application system in winter wheat was 70 % of the conventional herbicide application.

**Keywords:** Bi-spectral cameras, herbicide application, image analysis, site-specific, weed control

### **Zusammenfassung**

Im Frühjahr 2011 wurden auf der Versuchsstation Ihinger Hof der Universität Hohenheim Feldversuche zur teilschlagspezifischen online-Unkrautkontrolle in den Kulturen Winterweizen und Mais durchgeführt. Die Bildaufnahme für die Erfassung der Verunkrautung mit Hilfe von digitaler Bildverarbeitung erfolgte mit einem Kamerafahrzeug, auf welchem Bisppektralkameras montiert waren. Die Verwendung dieser Kameras gewährleistet die Aufnahme von Bildern, die von Boden, Steinen und Mulch weitestgehend ungestört sind. Zusammen mit den Bildern wurden die korrespondierenden Geokoordinaten gespeichert. Nach der anschließenden Bildauswertung unter Verwendung digitaler Bildauswerteverfahren erfolgte eine Kartierung der ermittelten Verunkrautung nach Unkrautarten bzw. Unkräuter gruppiert gemäß der Herbizidempfindlichkeit. Für die Kartierung wurden einseitig gleitende Mittelwerte der fünften Ordnung berechnet. Die Bestimmung des Mittelwertes erfolgte jeweils mit den vier Messwerten die zeitlich gesehen hinter dem aktuellen Messwert lagen und dem aktuellen Messwert. Durch diese rückwärtsgewandte Mittelwertbildung wurde die online Bildverarbeitung simuliert. Zur Überprüfung der Plausibilität der berechneten Unkrautverteilungskarten wurden die aus einer visuellen Rasterbonitur stammenden Daten herangezogen.

Unter Verwendung von Schadschwellen wurden die auf der Basis der Bildanalyse erstellten Unkrautverteilungskarten für die Berechnung von Applikationskarten benutzt. Die Umsetzung der Applikationskarten erfolgte mit einer Dreikammerspritze, welche eine simultane Applikation von bis zu drei Herbiziden unabhängig voneinander erlaubt. Eine Erfolgskontrolle der durchgeführten Herbizidapplikation erfolgte im zeitlichen Abstand wiederum anhand einer visuellen Rasterbonitur. Im Vergleich zur betriebsüblichen Variante wurde durch die teilschlagspezifische Herbizidapplikation im Winterweizen eine Herbizideinsparung von 83 % bzw. 58 % und im Mais von 66 % realisiert. Die durchschnittliche Wirksamkeit der

teilschlagspezifischen Herbizidmaßnahme im Winterweizen betrug 70 % der betriebsüblichen Variante.

**Stichwörter:** Bildverarbeitung, Bispektralkameras, Herbizidapplikation, teilschlagspezifisch, Unkrautkontrolle

## 1. Introduction

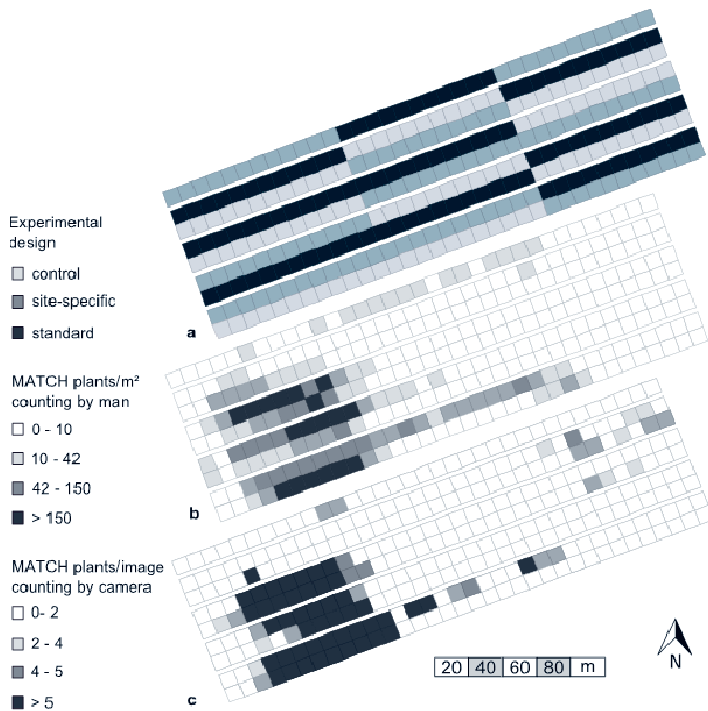
Several studies have shown that weed distribution is heterogeneous in time and space within fields (MARSHALL, 1988; THORNTON et al., 1990; CHRISTENSEN and HEISEL, 1998; GERHARDS and CHRISTENSEN, 2003; NORDMEYER and ZUK, 2002). Weeds often tend to occur in patches (CARDINA et al., 1997; DIELMANN and MORTENSEN, 1999). This offers the potential for herbicide savings using site-specific weed control. Apart from this biological prerequisite, other requirements have also to be fulfilled. These requirements are: First an accurate weed detection, second a decision component (algorithm) and third an adapted application technology (GERHARDS and OEBEL, 2006). NORDBO et al. (1994) distinguished site-specific herbicide application in a mapping and a real-time concept. The mapping concept consists of two steps. In the first step, the weed distribution is determined and visualized in a map. In the second step, the herbicide application is carried out according to the derived weed map. GERHARDS and OEBEL (2006) used this approach and achieved a wide range of herbicide savings from 6 % up to 81 % depending on the crop and the applied herbicide. In the real-time concept, weed detection and herbicide application are performed simultaneously. This approach requires online weed detection, a fast decision algorithm and an interface to the sprayer and a sprayer with a short lag time (SÖKEFELD et al., 2004). In contrast to the mapping concept, where information on the complete weed infestation of the entire field is available before spraying, in a real-time concept, the information on the weed distribution is limited to the area already assessed by the sensors on the sprayer. So far, online application was mainly restricted to vegetation recognition (plant versus soil and mulch) using reflectance properties (FELTON and MCCLOY, 1992; VRINDTS and DE BAERDEMAEKER, 1997; BILLER, 1998). For an in-crop application, discrimination of weed species or at least weed groups (weed groups show similar sensitivity to certain herbicides) is desirable as it maximizes the herbicide saving potential (GERHARDS and SÖKEFELD, 2003; WILES, 2009). For weed species discrimination, imaging technology using morphological properties is most promising (HEMMING and RATH, 2001; WEIS and GERHARDS, 2007). In addition, an online approach including weed discrimination seems to be the only practicable approach as it requires no extra vehicle crossing and thus no additional working hours. Therefore adoption by farmers is more likely. Site-specific weed control can be carried out at different spatial resolutions: Sub-field, individual weed patches or even single weed plants (CHRISTENSEN et al., 2009). In our opinion, a system at the patch-level is most suited for adoption into practice. However, an online system has to compete with the standard whole field application. Thus, the aim of the study was to compare these two systems in field trials, one in winter wheat (*Triticum aestivum*) and one in maize (*Zea mays*), regarding the herbicide input and weed control.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Field description and experimental design

The two field experiments were carried out at the Ihinger Hof research station near Stuttgart, Germany in 2011. The average temperature is 9.3 °C and the average precipitation is 715 mm (average of the last 10 years). For both fields, tillage, seed densities, fertilization levels and plant protection corresponded to the typical regional farming practice except for the herbicide application. The wheat experiment (Kirrlay Wald) was about 2.5 ha in size and the soil type was a loamy clay, whereas the maize experiment (Schafweide) was about 3.6 ha in size and the soil type was loam (Tab. 1).

The experiments were designed as randomized complete block design (RCBD; Fig. 1a). A standard herbicide application, a site-specific application and an untreated control were included. In winter wheat, the trial comprised nine blocks, in maize 16 blocks. Single plot size was 9 x 70-100 m. A grid with cells of 9 x 9 m was established in each plot. In winter wheat tramlines were excluded from the grids to avoid any effect due to lower wheat stand.



**Fig. 1** Experimental design (a), distribution of *Chamomilla recutita* by man counting (b) and distribution of *Chamomilla recutita* by camera counting (c) of the winter wheat trial (Kirrlay Wald). Single grid size is 9 m x 9 m.

**Abb. 1** Versuchsplan (a), Verteilung von *Chamomilla recutita* ermittelt durch Zählung (b) und Verteilung von *Chamomilla recutita* ermittelt durch automatische Klassifikation (c) des Winterweizenversuchs (Kirrlay Wald). Rastergröße 9 m x 9 m.

## 2.2 Determination of weed distribution

Weed distribution was determined at the grid size of 9 x 9 m by counting in an area of 0.4 m<sup>2</sup> at the grid center before and in the winter wheat trial also after the herbicide application. The center of each grid was geo-referenced.

Images were taken by bi-spectral cameras to access the weed infestation of the field. The bi-spectral cameras take two pixel congruent images in the red and infrared spectrum. The difference image does not contain any disturbances like straw or organic matter. In addition, a strong contrast between plants and background can be achieved (SÖKEFELD et al., 2007). For the weed classification a data based image analysis system was used. In this database, parameters (shape features and morphological features) of the different weed species and crops are stored. The features of the objects found in the images are compared with the features in the database and can be classified (WEIS and GERHARDS, 2007). The bi-spectral cameras were mounted on a self propelled sensor platform at a height of about 1 m above ground resulting in image sizes of 30 cm x 40 cm (KELLER et al., 2011). In winter wheat, the images were taken in the middle of the grids to allow for comparison with man weed counts. *Chamomilla recutita*, *Stellaria media*, *Veronica* spp., *Alopecurus myosuroides*, *Galium aparine* and *Triticum aestivum* were classified in the images. In the maize trial, the images were taken between the rows. Thus, no maize plants were visible in the images and therefore no crop-weed discrimination was necessary. In contrast to the winter wheat trial, weed species were not classified. Instead weed coverage was calculated after disturbances in the images smaller than 150 Pixel had been eliminated. In average 2-4 images were taken per m driving distance.

**Tab. 1** Details of the field trials in winter wheat and maize.**Tab. 1** Beschreibende Daten zur Durchführung der Feldversuche in Winterweizen und Mais.

	<b>Winter wheat</b>	<b>Maize</b>
Field size	2.5 ha	3.6 ha
Soil type	Loamy clay	Loam
Time of application	March 30, 2011	June 10, 2011
Growth stage crop (BBCH)	22-24	13-15
Weed group I	MATCH, STEME, ALOMY	All weeds
Growth stage weed (BBCH)	12-14	13-15
Threshold (plants/image)	> 7	> 0
Herbicide treatment	Isoproturon 2.5 l/ha	Tritosulfuron & dicamba 200 g/ha
Weed group II	GALAP	-
Growth stage weed (BBCH)	12-14	-
Threshold (plants/image)	>2	-
Herbicide treatment	Fluroxypyr 1 l/ha	-

### 2.3 Herbicide treatment

According to the weed infestation, the herbicide and application rate were chosen (Tab. 1). In winter wheat 1 l/ha fluroxypyr (Tomigan) and 2.5 l/ha isoproturon (Arelon fluessig 500) were applied. In maize, 200 l/ha tritosulfuron and dicamba (Arrat) were applied plus the surfactant Dash E.C. (1 l/ha). The application was carried out at BBCH 22-24 of the crop in winter wheat and BBCH 13-14 in maize. In the standard herbicide application treatment, the herbicide was applied to the whole area. The control was left untreated. In the site-specific treatment, the herbicide was applied dependent on the weed infestation. If the weed density was above a certain threshold the herbicide was applied otherwise the sprayer was switched off. Table 1 shows the thresholds for herbicide application for the site-specific treatment in both trials. In the winter wheat trial isoproturon was applied if the sum of *Chamomilla recutita*, *Stellaria media* and *Alopecurus myosuroides* was higher than seven per image. Fluroxypyr was applied if more than two objects per image were classified as *Galium aparine*. The thresholds were chosen rather high to take into account a slight overestimation of weed infestation due to misclassification by the classification algorithm. In previous studies, the average identification rate of this image analysis system ranged between 85 % - 98 % in winter wheat (WEIS et al., 2008). A one-sided moving average of order five, taking into account the four last images and the image at the current position of the sprayer, was used, as in an online site-specific herbicide application only this previous information is available. In maize, tritosulfuron and dicamba was applied if any weed coverage was found in one of the five images which were used for calculating the moving average. Herbicide application maps generated by using the above mentioned thresholds and the calculated moving average simulated an online approach. The actual spraying was realized by a multiple sprayer which allows the application of up to three herbicides independently from each other in a single pass across the field (GERHARDS and OEBEL, 2006). This sprayer was constructed in the frame of a research project and it is not available on the market. In winter wheat, weeds were counted again four weeks after herbicide application. The weed control performance of the standard and the site-specific treatment was determined comparing the weed density after the herbicide application (second weed count by man) and the weed density before the herbicide application (first weed count by man). In maize, no second weed count was carried out due to the very low weed infestation and the rapid maize growth resulting in the canopy closure and thus a low weed competition soon after the herbicide application.

### 3. Results

#### 3.1 Weed distribution in the fields

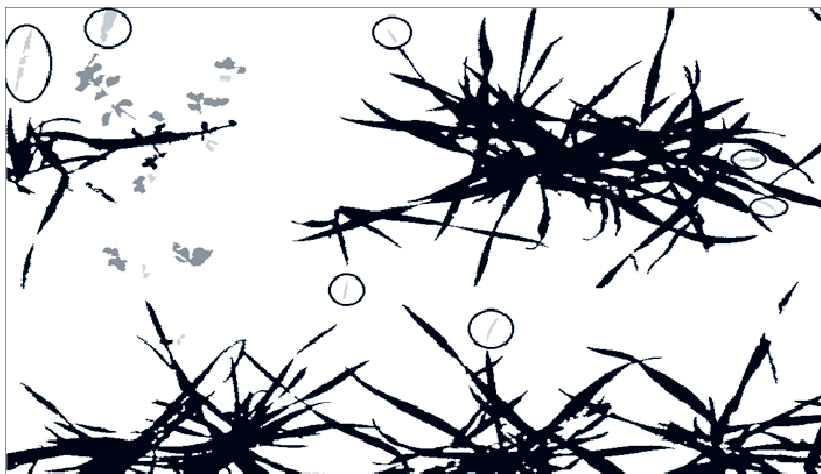
The weed infestation in the two field trials was found to be heterogeneously (Fig. 1 b/c). In the maize field, the weed density was rather low thus herbicide savings were high. Especially grass weeds were lacking, hence only one herbicide had to be sprayed and no differentiation between weed species was necessary. In the winter wheat field, the weed infestation was moderate only *Galium aparine* and *Chamomilla recutita* appeared in a very high density with maximum counts of more than 400 plants/m<sup>2</sup> (Tab. 2 and Fig. 1 b/c)).

**Tab. 2** Weed density for single species in the two field trials (weed count by man).

**Tab. 2** Unkrautdichte einzelner Arten in den beiden Feldversuchen (ermittelt durch Zählung).

Weed species	Winter wheat				Maize			
	Mean	Max.	Min.	SD	Mean	Max.	Min.	SD
<i>Chamomilla recutita</i>	27.9	468	0	78.4	-	-	-	-
<i>Galium aparine</i>	14.1	400	0	34.2	0.1	15	0	1
<i>Stellaria media</i>	7.1	170	0	19.8	-	-	-	-
<i>Alopecurus myosuroides</i>	3.5	108	0	10.7	-	-	-	-
<i>Cirsium arvense</i>	< 0.1	10	0	0.7	0.3	20	0	1.7
<i>Chenopodium album</i>	< 0.1	2.5	0	0.2	0.2	2.5	0	0.7
<i>Brassica napus</i>	< 0.1	7.5	0	0.4	0.2	2.5	0	0.6

Table 2 shows the density for single weed species in the two field trials. In the winter wheat trial, the dominant weed species (listed in decreasing order) were according to weed count by man: *Chamomilla recutita*, *Galium aparine*, *Stellaria media* and *Alopecurus myosuroides* (leaf stage 2-4). The results of the automatic classification based on bi-spectral images were similar (Fig. 1 b/c). However, *Alopecurus myosuroides* was found to be the most frequent weed. This can be ascribed to winter wheat leaf tips in the images, which were misclassified as *Alopecurus myosuroides* (Fig. 2).



**Fig. 2** Section of a classified bi-spectral image. Black: wheat, light gray (marked by circles): *Alopecurus myosuroides*, dark gray: broadleaved weeds.

**Abb. 2** Ausschnitt eines klassifizierten Bildes. Schwarz: Weizen, hellgrau (Kreismarkierung): *Alopecurus myosuroides*, dunkelgrau: breitblättrige Unkräuter.

In the maize trial, *Cirsium arvense*, *Chenopodium album*, *Brassica napus* and *Galium aparine* were the dominant weed species (Tab. 2). The growth stage was between leaf stage 3 and 5.

In winter wheat, distinct patches of *Chamomilla recutita* and *Galium aparine* in the western part of the field were recognized (Fig. 1 b/c). In maize, *Cirsium arvense* and other perennials showed a high level of aggregation. In general, weed densities were rather low.

### 3.2 Weed control and savings

The average weed control of the site-specific treatment in winter wheat was 70 % of the conventional weed management i.e. standard treatment (Tab. 3). The level of weed control was higher in the standard treatment compared with the site-specific treatment for all weeds. In the latter, herbicides were applied according to thresholds and thus a certain number of weeds are tolerated. For *Galium aparine*, only 43 % were controlled in the site-specific treatment compared to the high level of 94 % control achieved in the standard treatment. A very poor efficacy of isoproturon was found against *Alopecurus myosuroides*.

In the winter wheat trial, approximately 83 % of the site-specific variant was not treated with isoproturon according to the applied decision rules. No application with fluroxypyr was carried out at 58 % of the site-specific treatment. In the maize trial 66 % of the site-specific variant was left unsprayed.

**Tab. 3** Average weed control (%) in the winter wheat field with standard and site-specific application. 100 % = no weeds found after herbicide application.

**Tab. 3** Durchschnittliche Unkrautkontrolle (%) im Winterweizenversuch mit betriebsüblicher und teilschlagspezifischer Behandlung. 100 % = nach der Behandlung keine Unkräuter.

Weed species	Standard application	Site-specific application
<i>Alopecurus myosuroides</i>	61 %	47 %
<i>Chamomilla recutita</i>	99 %	81 %
<i>Galium aparine</i>	94 %	43 %
<i>Stellaria media</i>	100 %	70 %

## 4. Discussion

Both field trials show the potential of site-specific herbicide application using digital image analysis and an application technology with the opportunity to change herbicides on-the-go. The achieved herbicide savings are comparable with the results of former studies (NORDMEYER and ZUK, 2002; GERHARDS and OEBEL, 2006). In the winter wheat trial, the low herbicide efficacy against *Alopecurus myosuroides* in the site-specific variant as well as in the standard application might be explained by very dry weather conditions 3-4 weeks after the application. Isoproturon could not be taken up in an adequate amount due to missing soil moisture.

Basically, the presented system which is consisting of the components image acquisition, weed detection by image analysis, decision algorithm (spray/not spray) and special spraying equipment is capable for site-specific herbicide application. Especially the processing speed of the image analysis system has to be improved if it should be used as an online system.

With the use of a multiple sprayer different herbicides can be applied independently and in respect to the weed infestation. This could also be achieved with a direct injection system. The advantage of this systems is that due to direct injection the type and the amount of the herbicide can be changed on-the-go. Yet, the lag time of the currently available systems is long, because they all have a central point of injection (SÖKEFELD et al., 2004). If this drawback could be overcome, direct injection systems in combination with weed species detection technology could be used for online site-specific weed control on a large scale.

The determined thresholds particular for *Galium aparine* (Tab.1) seemed to be too high which is indicated by the low level of weed control against it (Tab. 3).

The high frequency of the image acquisition of 2 to 4 images per m driving distance required the calculation of a moving average in order to avoid a frequently switching on and off of the sprayer. On the other hand the calculation of the moving average smooths the density of the detected weed species and thus it can result in a delayed activation of the sprayer, i.e. not at the beginning of a weed patch. In future field trials the weed thresholds should be lower to achieve a better weed control. Certainly, lower thresholds will result in lower herbicide savings.

## Acknowledgements

We would like to thank the Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) for funding and the staff of the research station Ihinger Hof for their support.

## References

- BILLER, R.H., 1998: PFLANZENUNTERSCHIEDUNG UND GEZIELTER EINSATZ VON HERBIZIDEN. FORSCHUNGSREPORT **1**, 34.
- CARDINA, J., G.A. JOHNSON AND D.H. SPARROW, 1997: THE NATURE AND CONSEQUENCE OF WEED SPATIAL DISTRIBUTION. WEED SCIENCE **45**, 364-373.
- CHRISTENSEN, S. AND T. HEISEL, 1998: PATCH SPRAYING USING HISTORICAL, MANUAL AND REAL TIME MONITORING OF WEEDS IN CEREALS. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVI**, 257-265
- CHRISTENSEN, S., H.T. SOGAARD, P. KUDSK, M. NORREMARK, I. LUND, E.S. NADIMI AND R. JORGENSEN, 2009: SITE-SPECIFIC WEED CONTROL TECHNOLOGIES. WEED RESEARCH **49**, 233-241.
- DIELMANN, J.A. AND D.A. MORTENSEN, 1999: CHARACTERIZING THE SPATIAL PATTERN OF *ABUTILON THEOPHRASTI* SEEDLING PATCHES. WEED RESEARCH **39**, 455-467.
- FELTON, W.L. AND K.R. MCCLOY, 1992: SPOT SPRAYING. AGRICULTURAL ENGINEERING **73**, 9-12.
- GERHARDS, R. AND S. CHRISTENSEN, 2003: REAL-TIME WEED DETECTION, DECISION MAKING AND PATCH SPRAYING IN MAIZE, SUGAR-BEET WINTER WHEAT AND WINTER BARLEY. WEED RESEARCH **43**, 1-8.
- GERHARDS, R. AND M. SÖKEFELD, 2003: PRECISION FARMING IN WEED CONTROL - SYSTEM COMPONENTS AND ECONOMIC BENEFITS. IN: STAFFORD J. AND A. WERNER (EDS.) PRECISION AGRICULTURE, WAGENINGEN ACADEMIC PUBLISHERS, WAGENINGEN, 229-234.
- GERHARDS, R. AND H. OEBEL, 2006: PRACTICAL EXPERIENCES WITH A SYSTEM FOR SITE-SPECIFIC WEED CONTROL IN ARABLE CROPS USING REAL-TIME IMAGE ANALYSIS AND GPS-CONTROLLED PATCH SPRAYING. WEED RESEARCH **46**, 185-193.
- HEMMING, J. AND T. RATH, 2001: COMPUTER-VISION-BASED WEED IDENTIFICATION UNDER FIELD CONDITIONS USING CONTROLLED LIGHTENING. JOURNAL OF AGRICULTURAL ENGINEERING RESEARCH **78**, 233-243.
- KELLER, M., C. ZECHA, M. WEIS, J. LINK-DOLEZAL, R. GERHARDS AND W. CLAUPEIN, 2011: COMPETENCE CENTER SENGIS - EXPLORING METHODS FOR MULTISENSOR DATA ACQUISITION AND HANDLING FOR INTERDISCIPLINARY RESEARCH. IN: STAFFORD, J. (ED.): PRECISION AGRICULTURE '11. CZECH CENTRE FOR SCIENCE AND SOCIETY, AMPHILL, UK/PRAGUE, CZECH REPUBLIC, 491-500.
- MARSHALL, E.J.P., 1988: FIELD-SCALE ESTIMATES OF GRASS POPULATIONS IN ARABLE LAND. WEED RESEARCH **28**, 191-198.
- NORDBO, E., S. CHRISTENSEN, K. KRISTENSEN AND M. WALTER, 1994: PATCH SPRAYING OF WEED IN CEREAL CROPS. ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY **40**, 325-334.
- NORDMEYER, H. AND A. ZUK, 2002: TEILFLÄCHENUNKRAUTBEKÄMPFUNG IN WINTERWEIZEN (SITE-SPECIFIC WEED CONTROL IN WINTER WHEAT). ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 459-466.
- SÖKEFELD, M., R. GERHARDS, H. OEBEL AND R.D. THERBURG, 2007: IMAGE ACQUISITION FOR WEED DETECTION AND IDENTIFICATION BY DIGITAL IMAGE ANALYSIS. IN: STAFFORD, J. (ED.): PRECISION AGRICULTURE '07, VOLUME 6, THE NETHERLANDS. 6TH EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE (ECPA): WAGENINGEN ACADEMIC PUBLISHERS, 523-529.
- SÖKEFELD, M., P. HLOBEN AND P. SCHULZE LAMMERS, 2004: MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER DIREKTEINSPEISUNG VON PFLANZENSCHUTZMITTELN ZUR TEILSCHLAGSPEZIFISCHEN UNKRAUTKONTROLLE. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XIX**, 431-437.
- THORNTON, P.K., R.H. FAWCETT, J.B. DENT AND T.J. PERKINS, 1990: SPATIAL WEED DISTRIBUTION AND ECONOMIC THRESHOLDS FOR WEED CONTROL. CROP PROTECTION **9**, 337-342.
- VRINDTS, E. AND J. DE BAERDEMAEKER, 1997: OPTICAL DISCRIMINATION OF CROP, WEED AND SOIL FOR ONLINE WEED DETECTION. 1ST EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, WARWICK UNIVERSITY CONFERENCE PARK, UK, 8-10 SEPTEMBER 1997 (BIOS SCIENTIFIC PUBLISHERS, OXFORD, UK), J.V. STAFFORD (ED.), VOLUME 1, 537-544.

- WEIS, M. AND R. GERHARDS, 2007: FEATURE EXTRACTION FOR THE IDENTIFICATION OF WEED SPECIES IN DIGITAL IMAGES FOR THE PURPOSE OF SITE-SPECIFIC WEED CONTROL. IN: STAFFORD, J. (ED.): PRECISION AGRICULTURE '07, VOLUME 6, THE NETHERLANDS. 6TH EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE (ECPA): WAGENINGEN ACADEMIC PUBLISHERS, 537-545.
- WEIS, M., C. GUTJAHN, V. RUEDA AYALA, R. GERHARDS, C. RITTER AND F. SCHÖLDERLE, 2008: PRECISION FARMING FOR WEED MANAGEMENT: TECHNIQUES. GESUNDE PFLANZEN **60**, 171-181.
- WILES, L.J., 2009: BEYOND PATCH SPRAYING: SITE-SPECIFIC WEED MANAGEMENT WITH SEVERAL HERBICIDES. PRECISION AGRICULTURE **10**, 277-290.



## Echtzeitregelung der Applikationsmenge bei der Herbizidanwendung mit Hilfe eines Kamerasensors

*Online variable rate herbicide application using a camera sensor*

Karl-Heinz Dammer<sup>1\*</sup>, Hartmut Böttger<sup>1</sup>, Gerhard Wartenberg<sup>2</sup> & Roland Rosenau<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Abteilung Technik Im Pflanzenbau, Max-Eyth-Allee 100, D-14469 Potsdam

<sup>2</sup>Am Raubfang 16, D-14469 Potsdam

<sup>3</sup>Landwirtschaftliche Produktivgenossenschaft Dabrun e.G., Melzwyger Str. 26, D-06901 Kemberg

\*Korrespondierender Autor, kdammer@atb-potsdam.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.023

### Zusammenfassung

Am Leibniz-Institut für Agrartechnik wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen SYMACON Bildverarbeitung GmbH Barleben und Müller-Elektronik GmbH & Co. KG Salzkotten ein sensorgesteuertes Feldspritzensystem zur Applikation von Pflanzenschutzmitteln entwickelt.

Bei engstehenden Reihenkulturen wie Getreide erfolgt die Unkrauterfassung in der Fahrspur. Systembedingt wird nicht zwischen Unkraut und Kulturpflanze unterschieden. Dadurch ist ein langer Einsatzzeitraum des Systems gegeben, zumal eine Unterscheidung von Kulturpflanze und Unkraut je nach Überlappungsgrad im fortgeschrittenen Wachstumsstadium äußerst schwierig bzw. nicht mehr möglich ist. Situationsbedingt können als Regelparameter die Unkrautzahl (frühe Wachstumsstadien des Unkrautes) oder der Unkrautdeckungsgrad (späte Wachstumsstadien) verwendet werden. Auf Grund der mechanischen Trägheit der Feldspritze beim Erreichen des Sollwertes der Applikationsmenge (Druckanpassung innerhalb des Regelbereiches der Düsen) ist ein gewisser Abstand zwischen dem Sensor und dem Spritzbalken notwendig. Daher ist der Kamerasensor am Frontdreipunkt des Traktors positioniert. Feldspritzen mit einer schnellen kontinuierlichen Regelung der Applikationsmenge, die eine Sensorpositionierung am Spritzbalken erlauben, werden zurzeit nicht produziert.

Im Unterschied zu anderen am Markt verfügbaren bzw. in Entwicklung befindlichen sensorgestützten Applikationssystemen, wo Düsen bzw. Teilbreiten an- und abgeschaltet werden, wird entsprechend einer definierten Regelfunktion während der Fahrt die Applikationsmenge entsprechend dem Sensorsignal variiert. In Feldbereichen, in denen die Verunkrautung einen bestimmten Schwellenwert übersteigt, wird mit der betriebsüblichen Menge gespritzt, während in Bereichen ohne Unkraut bis zu 50 % reduziert wird. Zwischen 50 % bis 100 % erfolgt eine proportionale Anpassung der Applikationsmenge. Im Gegensatz zu einer Düsen- bzw. Teilbreitenschaltung „an/aus“ bleiben bei einer kontinuierlichen Regelung keine Feldbereiche unbehandelt. Die Gefahr einer ungehinderten Unkrautentwicklung bis hin zur Samenbildung ist nicht gegeben.

Im Herbst 2009 wurde mit dem sensorgesteuerten Spritzensystem in einem 26 ha großen Wintergerstenfeld eines Landwirtschaftsbetriebes eine Herbizidapplikation durchgeführt. Die Mitteleinsparung belief sich auf 20 %.

**Stichwörter:** Multispektralkamera, präzise Unkrautkontrolle, Unkrautsensor, variable Aufwandmengen

### Summary

In cooperation with the two companies SYMACON Bildverarbeitung GmbH Barleben and Müller-Elektronik GmbH & Co. KG Salzkotten a sensor controlled field sprayer for precise plant protection was developed at the Leibniz-institute for Agricultural Engineering.

In narrow seeded field crops like cereals, the weed detection is done within the tramlines. Because of the way the system operates, there is no discrimination between cultivated crops and weeds. In later growth stages, crop and weed are overlapping and discrimination within the plant stand becomes difficult or even impossible. Situational, the weed number (early growth stages) or the weed coverage level (late growth stages) can be used as parameter to control the field sprayer. The sensor is positioned at the front three point linkage of the tractor. Field sprayers with a fast adaption of the application rate are not yet commercially available.

In contrast to other "on/off" sensor controlled application systems which are on the market or under development, the application rate in the presented technology is in- or decreased according to the sensor signal. At heavy weed infested sites of the field, the customary application rate is sprayed. It is reduced up to 50 % at sites with low weed pressure. Between the volume of 50 % and 100 %, the application rate is

proportional adapted to the weed infestation. In contrast to the "on/off" switching of single nozzles or boom sections, no sites are left unsprayed using the variable rate approach. There is no risk of unobstructed weed development or seed setting.

In autumn 2009, a 26 ha winter barley field on a farm was sprayed against weeds with the sensor controlled field sprayer. The product Falcon® was used with the dosage of 1 l/ha. The spray volume was varied between 100 and 200 l/ha. The product savings were on average 20 %.

**Keywords:** Multispectral camera, precise weed control, sensor-controlled sprayer, weed sensor

## 1. Einleitung

Während für die Stickstoffdüngung mittlerweile sieben Sensortypen mit teilweise ähnlichem Wirkprinzip der landwirtschaftlichen Praxis angeboten werden (RECKLEBEN, 2010; EHLERT, 2011), gibt es in der Sensorentwicklung für den Pflanzenschutz erheblichen Nachholbedarf. Für den sensorgestützten Herbizideinsatz stehen zur Zeit Systeme, basierend auf den WeedSeeker® (Ntech Industries, Ukiah, USA) und Weed-IT® (Rometron, Doorwerth, NL), am Markt zur Verfügung. Einzeldüsen werden je nach vorhandenem grünen Pflanzenmaterial an- und ausgeschaltet. Diese Systeme unterscheiden nicht zwischen Unkraut und Kulturpflanze und sind daher für die Unkrautkontrolle mit Totalherbiziden in Reihenkulturen, abgeernteten Feldern, Brachen und Freiflächen (z. B. Parkplätzen) geeignet. Einen umfassenden Überblick über den Entwicklungsstand bei Sensoren und Applikationstechnologien gibt CHRISTENSEN et al. (2009).

Verfahren der sensorgestützten Herbizidapplikation in Feldfrüchten würden dem Landwirt die Möglichkeit bieten, entsprechend der örtlich auftretenden Verunkrautung seiner Ackerflächen, die Ausbringmenge mit einer geeigneten Pflanzenschutzspritze variabel anzupassen und dadurch Pflanzenschutzmittel einzusparen. Neben dem Umwelteffekt ist der ökonomische Vorteil für die Landwirtschaftsbetriebe zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit zu nennen. Zusätzlich zur Mitteleinsparung kann im Vergleich zu einer betriebsüblich einheitlichen Applikation mit einer Tankfüllung mehr Fläche behandelt werden, was zur Minderung der Maschinenkosten, besonders des Dieselvebrauchs führt. Auch die CO<sub>2</sub>-Bilanz bei der Produktion pflanzlicher Nahrungsmittel und Rohstoffe würde dadurch verbessert werden.

Echtzeitverfahren bei der Herbizidapplikation haben klare wirtschaftliche Vorteile gegenüber absetzigen Verfahren, bei denen Unkrautdetektion und Spritzung in zwei Arbeitsgängen erfolgen. Eine Aufbereitung der Daten zu einer Spritzkarte entfällt. Fehldosierungen z. B. durch Ausfall von GPS Daten werden vermieden. Durch die zeitnahe Spritzung gibt es kein Problem mit einem „Weiterwachsen“ des Unkrautes. Eine Erhöhung der Basisdosierung wäre unter diesen Umständen notwendig, wodurch sich der Einspareffekt verringern würde. Das Restmengenproblem lässt sich durch eine intelligente Spritzlogistik im Wesentlichen reduzieren. Bei Dienstleistern und flächenmäßig großen Landwirtschaftsbetrieben ist dies eher von untergeordneter Bedeutung, da ausreichend zu behandelnde Fläche zur Verfügung steht.

Das am Leibniz-Institut für Agrartechnik entwickelte Verfahren der sensorgestützten Herbizidapplikation in Echtzeit basiert auf der Anpassung der Applikationsmenge an die detektierte Verunkrautung. Das Verfahren wurde unter Einsatz eines Vorgängersensors (optoelektronischer Diodensensor) in vierjährigen Praxistests in den Jahren von 2000 bis 2003 erprobt. Es wurden Mitteleinsparungen von durchschnittlich 20 % (DAMMER et al., 2006; DAMMER und WARTENBERG, 2004, 2007) erreicht. Trotz der Einsparung von Pflanzenschutzmitteln zeigten mehrjährige Streifenversuche (sensorgestützte gegenüber betriebsüblicher einheitlicher Applikation) keine Ertragsreduktion und auch kein erhöhtes Auftreten von Unkräutern (DAMMER und WARTENBERG, 2004, 2007).

Die Erfahrungen aus den Praxistests in Agrarbetrieben mit dem Diodensensor gingen in die Entwicklung eines Kamerasensor-Forschungsmusters ein (BÖTTGER et al., 2004; WARTENBERG et al., 2005). Durch die Trennung von Boden und Pflanze können Kamerasensoren echte Pflanzenparameter wie Anzahl Pflanzen je Flächeneinheit oder Pflanzendeckungsgrad während der Überfahrt erfassen.

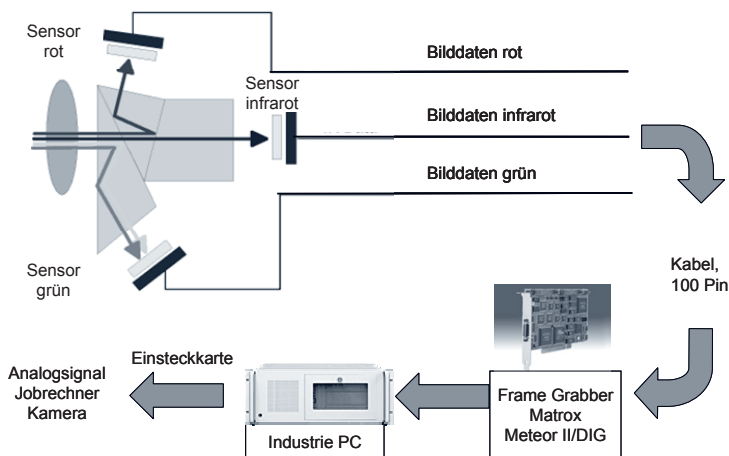
Die Pflanzenparametererfassung ermöglicht, falls gewünscht, eine Unkrautregulierung nach ökonomischen Schadensschwellen. In den Algorithmus der Regelfunktion können daher unter anderem ökonomische Betrachtungen, wie beispielsweise Ertrags-Verlust-Relationen, eingehen (WARTENBERG und DAMMER, 2001).

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Kamerasensor

Der Sensor besteht aus einer 3-Chip CCD Kamera vom Typ MS2100 (Firma DuncanTech, Redlake, San Diego, Californien, USA). In Abbildung 1 ist schematisch der Aufbau dargestellt. Durch einen Prismenblock wird das einfallende Licht in drei Strahlenbündel aufgeteilt. Die Strahlenbündel werden durch die dichroische Beschichtung der Prismenblöcke in drei verschiedene Spektralbereiche separiert. Vor den Bildsensoren sind Schmalbandfilter angeordnet, die Licht im roten (670 nm), infraroten (800 nm) und grünen (532 nm) Wellenlängenbereich mit einer bestimmten Bandbreite hindurch lassen. Dieses trifft dann auf den jeweiligen Bildsensor. Die digitalen Bilddaten werden im 8 Bit-Format über eine Bildverarbeitungskarte („Frame Grabber“) an einen Industrie-Computer ausgegeben. Hier erfolgt entsprechend WARTENBERG et al. (2005) die Bildverarbeitung durch das Programm „Unkraut“, erstellt durch die Firma SYMACON GmbH Barleben (1. Berechnung NDVI, 2. Binarisierung, 3. Objektzählung bzw. Deckungsgrad). Eine I/O-Einsteckkarte (PCI\_DAS\_6025) dient der Eingabe von Triggersignalen zur Auslösung der Bildfolge sowie der Ausgabe eines Analogsignals für die Feldspritze zur Steuerung der Applikationsmenge (1 bis 4 V entsprechend der detektierten Objekte). Die Einstellung der Kameraparameter (separate Verstärkung rot/infrarot, Belichtungszeit) erfolgt ebenfalls über den Industrie-PC mittels kameraeigener Steuerungssoftware DT Control.

Prinzipbedingt erfasst der Kamerasensor den Unkrautbewuchs in der Fahrspur. Die Kamera ist am Frontdreipunkt in einer Höhe von etwa 40 cm angebracht. Daraus ergibt sich in Verbindung mit dem ausgewählten Objektiv eine Größe der aufgenommenen Bildfläche von 20 cm x 15 cm. Durch ein wegabhängiges Triggersignal vom Traktorhinterrad werden die Bilder während der Überfahrt lückenlos aufgenommen. Zum Ausgleich der Trägheit des hydraulischen Systems der Feldspritze wird auf einer Fahrstrecke von 5 m die Summe der erkannten Einzelunkräuter gebildet, deren Größe klassifiziert und der mittlere Deckungsgrad errechnet. Eine Fahrstrecke von 5 m entspricht 25 Bildern bzw. einer Aufnahmefläche von 0,75 m<sup>2</sup>. Langjährige Feldversuche ergaben, dass diese relativ kleine Aufnahmefläche in der Fahrspur bei der sensorgestützten im Vergleich zu einer einheitlichen betriebsüblichen Herbizidapplikation keinen Einfluss auf den Bekämpfungserfolg hat und daher ausreichend ist (DAMMER UND WARTENBERG, 2004).



**Abb. 1** Schema des optischen Teils der Kamera und Informationsverarbeitung (nach WARTENBERG et al., 2005).

**Fig. 1** Optical part of the camera and information processing (according to WARTENBERG et al., 2005).

Gegenüber Sensorsystemen, die auch im Kulturpflanzenbestand das Unkraut detektieren, treten keine Probleme bei fortgeschrittenem Wachstum durch Überdeckung von Kulturpflanze und Unkräutern auf. Bei üblicher Fahrspurbreite ist somit ein langer Einsatzzeitraum des Sensors gegeben.

Der Kamerasensor und die Bildbearbeitungssoftware wurden so entwickelt, dass eine sichere Erkennung von Unkräutern bei in der Praxis üblichen Fahrgeschwindigkeiten gewährleistet ist. Feldtests wurden bei Geschwindigkeiten bis zu 15 km/h durchgeführt (WARTENBERG et al., 2005).

## 2.2 Sensorgesteuerte Feldspritze

Für die Untersuchungen wurde eine BBG-Amazone Feldspritze (Amazone Werke, Hasbergen-Gaste, D) verwendet. Diese hat ein Tankvolumen von 4000 l und ist mit einem 24 m Gestänge ausgerüstet. Auf dem Gestänge befinden sich Mehrfachdüsenkörper VarioSelect® (Lechler, Metzingen, D) mit Injektordüsen ID 120 der Größen 01, 015, 02 und 04. Dadurch wird eine Variierung der Applikationsmenge gewährleistet, ohne dass sich die Qualität des Spritzbelages wesentlich ändert. In Zusammenarbeit mit der Firma Müller-Elektronik, Salzkotten, erfolgte eine Integration des Kamerasensors in das Bus-System der Traktor-Feldspritze. Der Jobrechner der Kamera ist über den Bus mit dem Jobrechner Feldspritze verbunden. Auf beide kann mit dem Bedienrechner Basic Terminal Top® (Müller-Elektronik, Salzkotten, D) in der Traktorkabine zugegriffen werden. Zur Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten dient der ISOBUS Standard.

Zur Positionsbestimmung wurde ein AgGPS®132 DGPS Empfänger (Trimble, Sunnyvale, USA) mit dem System EGNOS (European Satellite Services Provider) benutzt.

Befindet sich das Unkraut im Keimblattstadium (z.B. Wintergetreide im Herbst) hat sich die Verwendung der detektierten Unkrautanzahl als Steuergröße bewährt; bei heterogener Altersstruktur des Unkrautes (z.B. Feldmöhren im Frühjahr und Sommer) hingegen der Deckungsgrad (DAMMER et al., 2008).

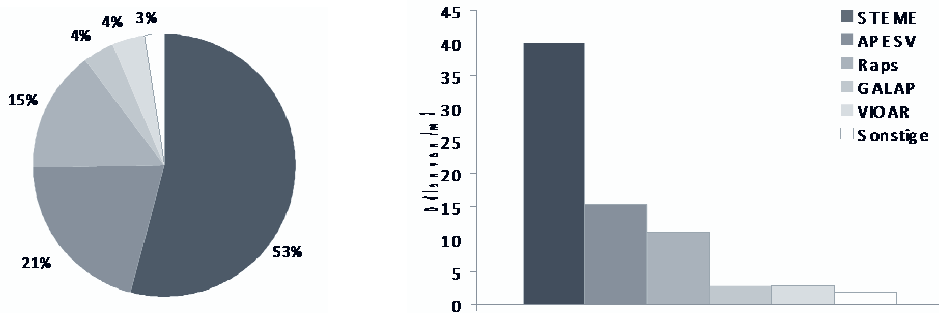
## 2.3 Versuchsstandort

Die Versuchsdurchführung erfolgte auf einem etwa 26 ha großen Wintergerstenschlag der Landwirtschaftlichen Produktivgenossenschaft Dabrun e.G., auf einem stauwasserbestimmten Lehmboden der Elbniederung. Die Verunkrautung wurde auf einem 18 m x 50 m Raster mit Hilfe eines 0,50 m<sup>2</sup> Zählrahmens etwa 2 m neben der Fahrspur im Kulturpflanzenbestand am 20.10.2009 erfasst. Am 21.10.2009 erfolgte eine Herbizidapplikation mit Falkon® (Diflufenican + Penoxsulam) mit 1l/ha in 200 l/ha Wasser. Ein Streifen wurde mit der vollen Aufwandmenge behandelt. In den anderen Streifen kam die Kamera zum Einsatz. Wie in langjährigen Feldversuchen geprüft (WARTENBERG und DAMMER, 2001; DAMMER und WARTENBERG, 2007), erfolgte eine lineare Anpassung zwischen 50 und 100 % der Applikationsmenge an die detektierte Verunkrautung. Im westlichen Teil des Feldes hat der Landwirtschaftsbetrieb einen Tag später eine etwa 1 ha große Restfläche des Feldes mit der betriebseigenen Feldspritze mit gleichem Mittel, gleicher Dosierung und gleicher Aufwandmenge (200 l/ha) behandelt. Es ergaben sich somit insgesamt drei Spritzvarianten auf dem Feld. Die Wintergerste der Sorte „Highlight“ (Aussaart: 17.09.2009 mit 165 kg/ha) war zum Behandlungszeitpunkt im Wachstumsstadium BBCH 11/12, die Unkräuter im Wesentlichen im Keimblattstadium und der Ausfalltraps im Zweiblattstadium. Die Stickstoffdüngung erfolgte mit KAS jeweils mit 75 kg/ha N am 10.03. sowie am 08.04.2010 und eine Fungizidbehandlung am 12.05.2010 mit Tankmischung 0,7 l/ha Diamant (F500 + Epoxyconazol) + 0,7 l/ha OpusTop (Epoxyconazol + Fenpropimorph) + 0,3 l/ha Camposan (Ethephon) in 200 l/ha Wasser. Auf Grund der unzureichenden Wirkung der drei Behandlungsvarianten im Herbst gegen Gemeinen Windhalm und Klettenlabkraut wurde eine zweite Herbizidbehandlung am 20.04.2010 mit einer Tankmischung 1 l/ha Axial50 (Pinoxaden + Cloquintocet-mexyl) + 1,5 l/ha Basagran DP (Bentazon + Dichloprop-P) 200 l/ha Wasser durchgeführt. Auf Grund fehlenden Unkrautes in der Fahrspur verursacht durch die häufigen Durchfahrten bei den Frühjahrsmaßnahmen war ein Sensoreinsatz bei dieser späten Herbizidapplikation auf diesem Auestandort nicht mehr sinnvoll.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Vorhandene Unkrautflora

Die Leitunkräuter (Abb. 2, links) waren Vogel-Sternmiere (*Stellaria media* L.) und Gemeiner Windhalm (*Apera spica-venti* (L.) Pal. Beauv.) mit 53 % und 21 % der Gesamtunkrautanzahl. Ausfallraps von der Vorfrucht trat mit 15 % auf. Mit jeweils 4 % folgten Kletten-Labkraut (*Galium aparine* L.) und Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis* Murr.).



**Abb. 2** Relative Häufigkeit (links) und mittlere Individuendichte der vorkommenden Unkrautarten (rechts), Wintergerstenfeld am 20.10.2009.

**Fig. 2** Relative frequency (left) and mean abundance of weed species on October 20, 2009 (right).

Eher sporadisch traten mit 1,4 % Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), 1,0 % Gemeiner Erdrauch (*Fumaria officinalis* L.) und 0,1 % Taubnessel-Arten (*Lamium* spp.) auf. Diese drei Arten wurden unter „Sonstige“ (Anteil < 3 %) zusammengefasst. Bei der Analyse der Abundanz anhand der mittleren Individuendichte je Unkrautart (Abb. 2, rechts) zeigte sich, das STEME mit 40 Pflanzen/m<sup>2</sup> die größte Dichte aufwies, gefolgt von APESV (20 Pflanzen/m<sup>2</sup>) und Ausfallraps (11 Pflanzen/m<sup>2</sup>). Die andern Unkrautarten kamen mit Abundanzen kleiner als 3 Pflanzen/m<sup>2</sup> vor.

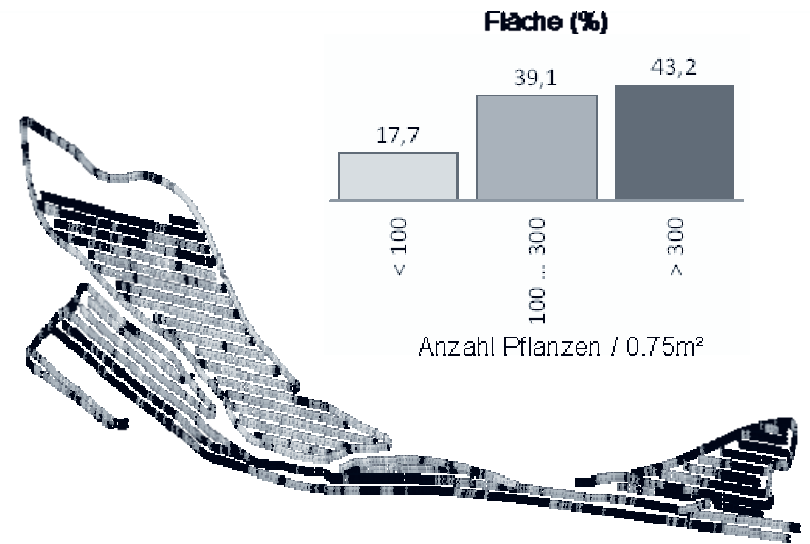
#### 3.2 Sensorgesteuerte Herbizidapplikation

Während der Versuchsdurchführung wurden parallel Sensorwert, Applikationsmenge und GPS-Position aufgezeichnet. So konnten zur Visualisierung und Kontrolle Sensor- und Applikationskarten erstellt werden. Dazu wurde die Software ArcView® (ESRI, Redlands, Californien, USA) genutzt.

Die Karte der Sensorwerte (Abb. 3) zeigte eine stärkere Verunkrautung im südlichen Randbereich sowie im westlichen und östlichen Teil des Feldes. Der Anteil stark verunkrauteter Bereiche (> 300 Unkräuter/0,75 m<sup>2</sup>) ist mit 43 % des Feldes als sehr hoch zu beurteilen.

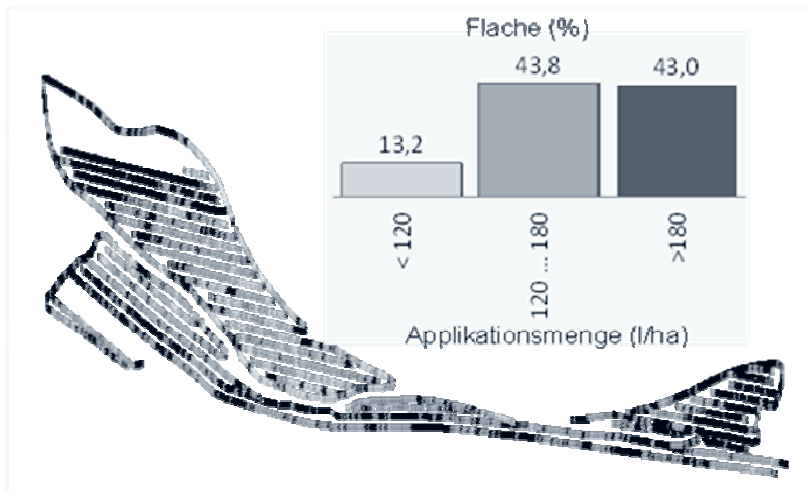
Entsprechend der Erfahrung des Landwirtes wurde eine obere Schwelle des Sensorwertes festgelegt, ab der die volle Aufwandmenge von 200 l/ha zur Anwendung kam. Bei Sensorwert Null erfolgte die Applikation der halben Aufwandmenge. Unterhalb der oberen Schwelle erfolgte eine lineare Reduktion der Aufwandmenge bis Sensorwert Null.

Ähnlich der Sensorwerte zeigt sich die räumliche Verteilung der Applikationsmenge innerhalb des Feldes (Abb. 4). Hohe Applikationsmengen >180 l/ha wurden in den Bereichen mit >300 Unkräuter/0,75 m<sup>2</sup> appliziert und Mengen <120 l/ha in Bereichen mit <100 Unkräuter/0,75 m<sup>2</sup>.



**Abb. 3** Karte des Sensorwertes (Unkrautzahl/0,75 m<sup>2</sup>) am 21.10.2009.

**Fig. 3** Map of the sensor values (weed number/0.75 m<sup>2</sup>) on October 21, 2009.



**Abb. 4** Karte der Applikationsmenge (l/ha) am 21.10.2009.

**Fig. 4** Map of the application rate (l/ha) on October 21, 2009.

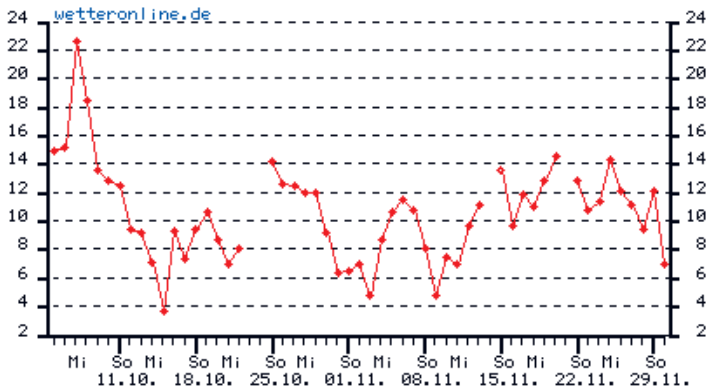
Nach Auswertung der 6835 Einzelwerte ergab sich eine durchschnittliche Applikationsmenge von 159,7 l/ha für dieses Feld. Das entspricht einer Mitteleinsparung im Vergleich zu einer flächeneinheitlichen Herbizidspritzung (200 l/ha) von rund 20 %.

Nachbonituren an den Aufnahmeorten am 28.10. und 10.11.2009 ergaben erst am zweiten Termin erkennbare Chlorophylldefekte bei den zweikeimblättrigen Unkräutern in allen drei Behandlungsvarianten (1. sensorangepasst, 2. ohne Sensor einheitlich, 3. betriebseigene Spritze einheitlich). Erwartungsgemäß traten keine Wirkungssymptome an der Acker-Kratzdistel auf. Dieses

Wurzelunkraut liegt außerhalb des Wirkungsspektrums des Mittels. Der Gemeine Windhalm war wider erwarten nicht geschädigt. Im Frühjahr war daher ein hoher Unkrautdruck durch Windhalm vorhanden. Klettenlabkraut trat im Frühjahr ebenfalls an den Boniturpunkten relativ häufig auf.

#### 4. Diskussion

Erste Wirkungssymptome an den Unkräutern waren erst am zweiten Boniturtermin 20 Tage nach Behandlung erkennbar. Dies ist mit der Witterung erklärbar. Abbildung 5 zeigt den Verlauf der maximalen Temperatur der nächstgelegenen Wetterstation Wittenberg (Sachsen-Anhalt) im Zeitraum Oktober bis November 2009. Deutlich erkennbar ist der fast lineare Abwärtstrend der Temperatur vom 07.10. bis zum 15.10.2009. Zum Applikationszeitpunkt 21.10. und danach lag die Maximaltemperatur deutlich unter 10 °C. In den Nächten trat Frost auf. Ein Stoffwechsel (Wachstum) der Pflanzen war praktisch nicht gegeben, so dass davon auszugehen ist, dass systemische Mittel nur schwer in die Pflanze aufgenommen werden.



**Abb. 5** Verlauf des Temperaturmaximums im Oktober und November 2009 ([www.wetteronline.de](http://www.wetteronline.de)).

**Fig. 5** Run of the maximum temperature in October and November 2009 ([www.wetteronline.de](http://www.wetteronline.de)).

Die unzureichende Windhalm- und Klettenlabkrautwirkung trat in allen drei Behandlungsvarianten gleichzeitig auf. Daher ist die Minderwirkung nicht auf das Verfahren der sensorgestützten Herbizidapplikation zurückzuführen. Das vorliegende Beispiel zeigt deutlich, dass Mittelwirkungen sehr stark von den Witterungsbedingungen während der Applikation und danach abhängen.

Mit 20 % erscheint die eingesparte Mittelmenge nicht sonderlich hoch. Es ist in diesem Zusammenhang jedoch die hohe Ausgangsverunkrautung (Abb. 2) auf diesem Feld zu nennen, die höheren Einspareffekten entgegenwirkt. Bei dem aktuellen Literpreis des Mittels von ca. 34 € belief sich die Einsparung auf etwa 7 € pro Hektar. Des Weiteren wird im vorgestellten Verfahren der sensorgestützten Herbizidapplikation die gesamte Fläche behandelt. Im Gegensatz zu Systemen, die Teilbreiten je nach Erreichen bestimmter Parameterschwellen zu bzw. abschalten, erfolgt eine kontinuierliche Regelung der Applikationsmenge über den gesamten Spritzbalken je nach Höhe der Sensorsignals. Falls bei den „an/aus“-Systemen im Aufnahmebereich der Sensoren die vorher eingestellten Schwellen unterschritten werden, wird die gesamte Teilbreite abgeschaltet, so dass Feldbereiche unbehandelt bleiben.

Sowohl bei den Systemen „an/aus“ als auch „kontinuierliche Regelung“ wird durch die Sensoren nur ein kleiner Bereich entlang des Spritzbalkens bzw. der Teilbreite erfasst. Das Unkrautaufreten in den anderen Bereichen bleibt unerkannt. Die dort noch vorhandenen Unkräuter können bei „an/aus“-Systemen ungehindert weiterwachsen und zur Samenbildung kommen. Zwar sind beim vorgestellten Verfahren die Mitteleinsparungen durch die Spritzung der Gesamtfläche nicht so hoch wie bei den „an/aus“-Systemen, aber eine ungehinderte Unkrautentwicklung und damit eine Restverunkrautung, welche zu Problemen bei der Ernte führen könnte, werden vermieden.

Bei dem vorgestellten Verfahren der kontinuierlichen Regelung wird die gesamte Fläche bei gleicher Konzentration der Spritzbrühe behandelt. Es wird lediglich die Aufwandmenge bis auf 50 % reduziert, wenn kein Unkraut detektiert bzw. eine bestimmte Schwelle unterschritten wird. DOGAN (1999) belegt, dass bei günstigen Umweltbedingungen eine ausreichende Schädigung des Unkrautes sogar bei einer Reduzierung der Mitteldosierung bis 50 %, also dem Mischungsverhältnis Wasser zu herbizidem Produkt, eintritt. Somit ist bei dem vorgestellten Verfahren eine sichere Wirkung des Herbizides gewährleistet, vorausgesetzt die anderen Randbedingungen einer guten fachlichen Praxis sind gewährleistet.

## Literatur

- BÖTTGER, H., H. LANGNER UND A. RUCKELSHAUSEN, 2004: MESSSYSTEM ZUR BEWERTUNG DES UNKRAUTVORKOMMENS. BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHTE **36**, 49-54.
- CHRISTENSEN, S., H.T. SOGAARD, P. KUDSK, M. NORREMARK, I. LUND, E.S. NADIMI UND R. JORGENSEN, 2009: SITE SPECIFIC WEED CONTROL TECHNOLOGIES. WEED RESEARCH **49**, 233-241.
- DAMMER, K.-H. UND G. WARTENBERG, 2004: WIRKUNG SENSORGESTÜTZTER HERBIZIDAPPLIKATION IN GE-TREIDE UND ERBSEN, JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XIX**, 405-412.
- DAMMER, K.-H., G. WARTENBERG UND A. GIEBEL, 2006: ABUNDANZ- UND DISPERSIONSDYNAMIK VON UNKRÄUTERN BEI SENSORGESTÜTZTER HERBIZIDAPPLIKATION AM BEISPIEL EINES SOMMERGERSTENSCHLA-GES. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 197-204.
- DAMMER, K.-H. UND G. WARTENBERG, 2007: REAL-TIME SITE SPECIFIC WEED MANAGEMENT WITH VARIABLE HERBICIDE RATES. CROP PROTECTION **26**, 270-277.
- DAMMER, K.-H., G. WARTENBERG UND F. WEINHOLD, 2008: AUFWANDMENGENDIFFERENZIERUNG BEI SENSORGESTÜTZTER HERBIZIDAPPLIKATION IN UNKRAUTPOPULATIONEN MIT HETEROGENER ALTERSSTRUKTUR, JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 161-166.
- DOGAN, M.N., 1999: INVESTIGATIONS ON THE EFFICACY OF REDUCED HERBICIDE DOSES DEPENDING ON WEED SPECIES, GROWTH STAGE AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS. PROMOTIONSSCHRIFT, STUTTGART-HOHENHEIM.
- EHLERT, D., 2011: SENSOREN FÜR DÜNGUNG UND PFLANZENSCHUTZ. VDI-BERICHTE **Nr. 2117**, 115-128.
- RECKLEBEN, Y., 2010: SENSORSCHWEMME. STICKSTOFFDÜNGUNG MIT SENSOREN – WELCHE GIBT ES UND WAS KÖNNEN SIE? NEUE LANDWIRTSCHAFT **HEFT 4**, 81-84.
- WARTENBERG G. UND K.-H. DAMMER, 2001: SITE-SPECIFIC REAL TIME APPLICATION OF HERBICIDES IN PRACTICE. IN: GRENIER, G., UND S. BLACKMORE, (EDS.). THIRD EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. VOL. 2. AGRO, MONTPELLIER, PP. 617-622.
- WARTENBERG, G., H.-R. LANGNER, H. BÖTTGER UND H. SCHMIDT, 2005: MESSSYSTEM ZUR BEWERTUNG DES UNKRAUTVORKOMMENS. BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHTE **44**, 158 S.



## Quantifying herbicide injuries in maize by use of remote sensing

*Quantifizierung von Herbizidschäden in Mais mit Hilfe von Fernerkundung*

Dominik Dicke<sup>1\*</sup>, Jan Jacobi<sup>2</sup> & Andreas Büchse<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Regional Authority Giessen, Plant Protection Service Hessen, Schanzenfeldstraße 8, 35578 Wetzlar, Germany

<sup>2</sup>Büttinghausenstraße 26, 53129 Bonn, Germany

<sup>3</sup>BASF SE; APR/PK- LI 475, 67117 Limburgerhof, Germany

\*Corresponding author, dominik.dicke@rpgi.hessen.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.024

### Summary

Maize breeders and plant protection companies require early information about negative side effects of herbicides on maize plants to identify cultivars which are susceptible to specific herbicide agents. Experiments were conducted in 2005 and 2006 to quantify herbicide injuries in maize. In 2005, sulfonylurea type herbicides and an untreated control were established in a susceptible and an insusceptible maize cultivar at University of Bonn, Research Station Dikopshof. Multispectral images were taken via airborne remote sensing after herbicide application. The normalized difference vegetation index (NDVI), an indicator for crop vitality, was calculated. Biomass was assessed before harvest. Yield was mapped at harvest. In 2006, 12 maize cultivars were sown in strips at Dingbuchenhof, near Erkelenz. Plots with an untreated control and plots with two doses of a sulfonylurea type herbicide were established square to the direction of the maize strips. Maize vitality was observed by visual ratings after spraying. Multispectral images were taken via airborne remote sensing and NDVI was calculated.

In 2005, corn and straw biomass was significantly reduced in the treated plots within the susceptible cultivar. NDVI values and crop yields were reduced in the plots treated with sulfonylurea type herbicides. High correlations between NDVI- and yield values were calculated. However, no differences were assessed in the insusceptible maize cultivar.

In 2006, overdoses of the sulfonylurea type herbicide caused vitality losses in almost all cultivars. Observations on crop vitality from visual ratings corresponded in many cases with the vitality values (NDVI) measured with remote sensing. Visual ratings can be influenced by individual estimation mistakes. By contrast, remote sensing enables numerically discrimination of herbicide injury in entire maize fields. This kind of measure may be helpful to accelerate the detection process of maize cultivars that are susceptible to herbicides.

**Keywords:** Crop vitality, digital measure, on-farm-research, sulfonylurea type herbicides

### Zusammenfassung

Maiszüchter und Hersteller von Pflanzenschutzmitteln benötigen Informationen, um die Herbizidverträglichkeit von Maissorten frühzeitig abschätzen zu können. Es wurden Feldversuche durchgeführt, um Schädigungen von Herbiziden an Mais zu detektieren und zu quantifizieren. Im Jahr 2005 wurden Sulfonylharnstoffe im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle in je einer gegenüber dieser Herbizidgruppe unempfindlichen und einer empfindlichen Maissorte appliziert (Versuchsgut Dikopshof der Universität Bonn). Nach der Herbizidapplikation wurde die Versuchsfläche aus der Luft mit einer Multispektralkamera aufgenommen. Der „Normalized Difference Vegetation Index“ (NDVI), ein Indikator für Vitalität der Pflanzen, wurde in allen Varianten berechnet. Vor der Ernte wurde die Biomasse bestimmt. Zur Ernte wurde der Ertrag in den Parzellen per Ertragskartierung erfasst. Im Jahr 2006 wurden 12 Maissorten in Streifen nebeneinander angelegt (Dingbuchenhof bei Erkelenz). Im rechten Winkel zur Anlage der Sorten wurden ebenfalls in Streifen zwei Dosierungen eines Herbizides aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe appliziert. Ein unbehandelter Kontrollstreifen wurde zum Vergleich ebenfalls quer über die Sorten angelegt. Die Vitalität der Sorten in den Varianten wurde visuell geschätzt. Gleichzeitig wurde die Versuchsanlage aus der Luft mit einer Multispektralkamera aufgenommen. Der NDVI wurde in allen Varianten berechnet.

Ergebnisse 2005: Die Biomasse war in den behandelten Parzellen der empfindlichen Sorte stark reduziert. Ebenfalls waren die NDVI-Werte sowie die Erträge in den behandelten Parzellen wesentlich niedriger als in den unbehandelten. NDVI-Werte und Erträge waren positiv miteinander korreliert. In der unempfindlichen Maissorte gab es keine Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen.

Ergebnisse 2006: Überdosierungen führten zu Vitalitätsverlusten an nahezu allen getesteten Maissorten.

Visuelle Schätzungen folgten dem gleichen Trend wie die NDVI-Werte. Visuelle Bonituren sind durch individuelle Schätzfehler beeinflusst und zeitintensiv. Sensorische Bestimmung der Vitalität via Fernerkundung mit Multispektralkamera ermöglicht es dagegen, Vitalitätsverluste durch Herbizide numerisch zu erfassen, wodurch der Prozess der Identifizierung von herbizidempfindlichen Maissorten beschleunigt werden könnte.

**Stichwörter:** Digitale Messung, On-Farm-Experiment, Sulfonylharnstoffe, Vitalität von Pflanzen

## 1. Introduction

Herbicides may cause severe injuries in maize which lead to growth retardations when applied under stressful environmental conditions or in susceptible maize cultivars (FRANK et al., 1983; WEIDENHAMMER et al., 1989). Plant breeders as well as plant protection companies require early information on unwanted side effects of sulfonylurea type herbicides on maize to detect susceptible cultivars in which such herbicides would cause injuries and growth retardations. The common procedure to quantify herbicide injuries on field scale is to rate vitality after herbicide application by visual observations (DONALD, 1998). Visual fatigue and the numbing effect of looking at plants over long periods make rating imprecise (THEUNISSEN and LEGUTOWSKA, 1992). So, visual rating is subjective and may be inaccurate over time (SPOMER and SMITH, 1988). Sensor- and GIS-technologies enable digital measures of crop status. JACOBI and KÜHBAUCH (2005) quantified differences in crop vitality in field plots of winter wheat resulting from deficient nitrogen fertilisation and fungal infection using very high resolution (VHR) satellite images. Remote sensing imagery coupled with geospatial technologies could potentially be used to identify herbicide drift-affected field sites (HENRY et al., 2004). Even with site-specific weed control, where some field areas remain untreated, crop vitality loss resulting from herbicides may clearly appear on images of VHR satellites (DICKE and KÜHBAUCH, 2005). The aim of this study was firstly to detect vitality losses in maize varieties caused by herbicides and secondly to test remote sensing as a tool for quantifying vitality losses caused by herbicides.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Field trial in 2005

The influence of two sulfonylurea type herbicides on vitality and yield of the maize cultivars Fuego (insusceptible) and Abraxas (susceptible) was studied in a split plot design with four repetitions within each cultivar at Dikopshof Research Station in 2005. The soil type was a homogeneous sandy loam (loess).

The two maize cultivars were sown on 13.05.2005 with customary sowing rates (9 seeds/m<sup>2</sup>). In all plots, a customary dose of *Click Pro*<sup>®</sup> (225 g/kg bromoxynil and 350 g/kg terbutylazin) was applied in 200 l water against dicot weeds over all plots, when maize had reached the 5-6 leaf stage using an ordinary field sprayer on 17.06.2005. As trial variants, 50 g Cato<sup>®</sup> (250 g/kg rimsulfuron) (variant 1) and 150 g/ha MaisTer<sup>®</sup> (300 g/kg foramsulfuron + 10 g/kg iodosulfuron + 300g/kg isoxadien-ethylen) (variant 2) were applied on 17.06.2005 at the intended plots. The size of each plot was of 50 m x 21 m. The control plots (variant 3) were not treated with sulfonylurea type herbicides. One week after spraying, multispectral images of the experimental design were taken from a helicopter using a Nir-R-G-Digicam [green (500-600 nm), red (<600-700 nm) and near infrared channel (<700-950 nm); 1 CCD-chip; 1.1 Mio pixel]. The image analysis was processed using ERDAS Imagine 8.4-software. Firstly, the experimental field was excluded out of the geo-referenced air-borne image. Secondly, from the near infrared (NIR) (760-900 nm) and the red spectral bands (630-690 nm), the normalized difference vegetation index (NDVI)  $[R(NIR) - R(Red)] / [R(NIR) + R(Red)]$ , an indicator for crop vitality (ROUSE et al., 1973) was calculated across all pixels within the parts of interest.

Fresh weight (straw differentiated from corncob) was assessed in each plot four weeks before harvest directly on the field. Dry weight was measured in the lab. During harvest, yield was mapped using CERES 2, a dGPS connected combine-mounted yield monitor system of RDS-Company. Yield and NDVI-data of the plots of interest were merged using ESRI-Software. Yield and NDVI-data were correlated afterwards.

## 2.2 Field trial in 2006

A field trial of BASF Company (Dingbuchenhof, near Erkelenz) was selected, in order to measure vitality losses caused by different dosages of the sulfonylurea type herbicide Motivell® (40 g/l nicosulfuron) via remote sensing and to compare the sensor results with the visual ratings from company staff (evaluations were made by one person). The soil type was a very homogeneous sandy loam. Gravel or sand beddings or other interfering differences, which could influence sensor measures were not visible, neither from within the field, nor by bird's eye view onto the whole field via helicopter. However, soil has not been mapped via Em38. In the experiment, 12 maize varieties were sown in strips. Each strip had a width of 4.5 m (6 maize rows). One untreated control, three repetitions of the recommended herbicide dose of 1 l/ha Motivell® and two repetitions of the triple amount of the recommended nicosulfuron dose (3 l/ha Motivell®) were established in the field. Before maize germination, the recommended rate of a dimethenamid P + pendimethalin (720 g/l + 400 g/l) mixture was applied against dicot weeds across the field. At 5-6 leaf stage, the herbicide dosages (variants) were applied rectangular to the cultivars in 9 m widths via bicycle sprayer. So, plots sizes were 4.5 m x 9 m. Visual ratings of maize vitality were conducted by company staff 14 days after spraying. The percentage crop vitality losses in each plot were estimated by visual observations (yellowness and crop height). Simultaneously, multispectral images from the experimental design were taken via remote sensing using helicopter in the same way as in 2005. Image analysis was also performed analogical to the field trial in 2005. From the NIR image, a grey value image was derived with a range from 0 (black) to 255 (white). Kernel plots of interest with defined size were extracted out of the experimental plots for further analysis in order to avoid mixed pixels resulting from the neighbor plots. The averaged grey values of each kernel plot were normalized in order to remove the specific reflectance characteristics of the different varieties: The untreated variant (control) of each respective maize cultivar was set to the value 100 for highest crop vitality. Data on yield were not recorded. Visual ratings and sensor measurements were analyzed using a two factorial linear mixed model. Rows of the experimental design were modeled as a random design effect and treatment whereas cultivar and interaction treatment by cultivar were modeled as fixed effects. The estimates and measurements from control plots were not used in the linear mixed model because these plots did not really provide information and would have caused problems related to their zero variance. Nevertheless a statistical test for phytotoxic effects of herbicide application is possible by calculating confidence intervals for the herbicide effect and comparing these intervals with a phytotoxicity of zero. To fulfill the model assumptions of homogeneous variances and Gaussian error distribution, we performed a logit-transformation (eq. 1).

$$y = \log\left(\frac{p}{1-p}\right), \text{ with } p = (\text{percent phyttox} + 0.5) / 100. \quad (\text{eq.1})$$

The addition of 0.5 was done to avoid problems with a rating of 0 percent. After fitting the linear model we used eq. 2 for back transformation and estimation of means and confidence limits.

$$E_{(\text{percent\_phytox})} = 100 \cdot \left(\frac{1}{e^{-y} + 1}\right) - 0.5 \quad (\text{eq.2})$$

We calculated the operative heritability as ratio between cultivar and treatment variances divided by the error variance assuming four plots per cultivar and treatment. For example, cultivar heritability is calculated with  $h^2 = \text{var}_{\text{cultivar}} / (\text{var}_{\text{cultivar}} + \text{var}_{\text{error}}/4)$ .

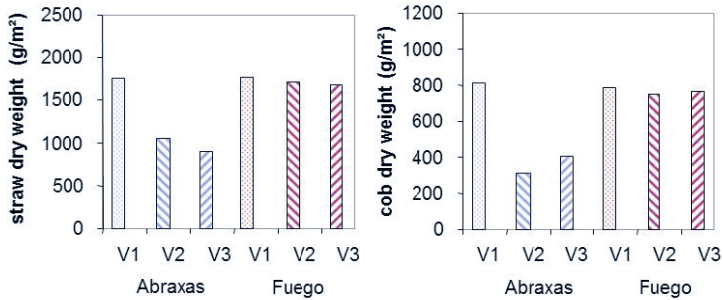
Linear mixed model computations and estimation of variance components were performed with the REML method of procedure MIXED available in the statistical software package SAS 9.2.

### 3. Results

#### 3.1 Field trial 2005

Ground truth results:

Crop growth of variety Abraxas paused for one month in those plots, where sulfonyleurea-type herbicides were applied (data not shown). Corn cob and straw biomass was reduced in the treated plots. No herbicide injuries were found in the insusceptible maize cultivar Fuego.

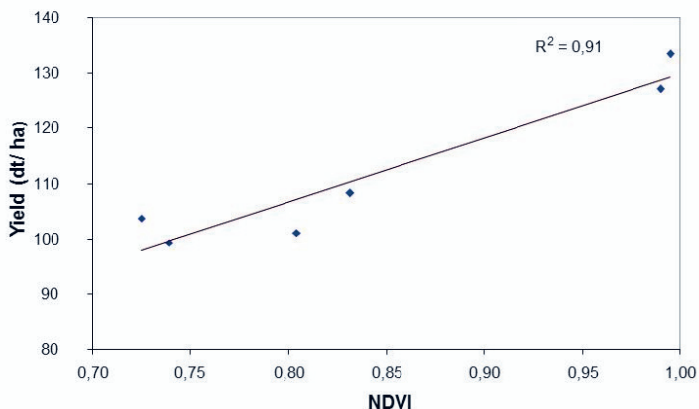


**Fig. 1** Influence of sulfonyleurea-type herbicide (V1: Untreated control, V2: Cato®, V3: MaisTer®) on straw dry weight and corn cob dry weight in the varieties Abraxas and Fuego.

**Abb. 1** Einfluss von Sulfonylharnstoffen (V1: Unbehandelte Kontrolle, V2 Cato®, V3: MaisTer®) auf Trockenmasse Stroh und Trockenmasse Maiskolben in den Sorten Abraxas und Fuego.

Sensor results:

Unfortunately, only data of six plots (two repetitions) of variety Abraxas were of sufficient quality for image analysis, because of vibrations during picture recording which led sometimes to camera shake. In the susceptible cultivar Abraxas, the NDVI values were reduced in the plots treated with sulfonyleurea type herbicides. In both repetitions the same NDVI-gradation between the treated plots were assessed. There was a high correlation between NDVI and yield, indicating that yield loss resulting from herbicide injury may be predicted from the early measured vitality values.



**Fig. 2** Correlation between NDVI and maize yield in six plots containing two repetitions of the herbicide variants "Control, Cato®, MaisTer®" in the susceptible maize variety Abraxas in field trial of 2005.

**Abb. 2** Beziehung zwischen NDVI und Maisertrag in sechs Versuchspartellen mit zwei Wiederholungen der Herbizidvarianten „Kontrolle, Cato®, MaisTer®“ in der empfindlichen Maissorte Abraxas im Versuch des Jahres 2005.

### 3.2 Field trial 2006

The estimated variance components showed a lower error variance for the sensor data but also lower cultivar and treatment variance for the sensor data compared to the visual data (Tab. 1). The interaction cultivar by treatment was neglectable. The operative heritability for cultivar and treatment effects was higher for data from visual rating compared to the sensor measurement.

**Tab. 1** Variance components and heritability (ratings from control plots not used).

**Tab. 1** *Varianzkomponenten und Heritabilität (Bonituren der Kontrollvarianten sind unberücksichtigt).*

Variance component	logit_sensor_pct	logit_visual_pct	sensor_pct	visual_pct
Cultivar	0.174	0.312	3.85	13.31
Treatment	0.049	0.461	0.96	9.31
Cultivar*treatment	0.000	0.030	0.00	0.00
Row(treatment)	0.054	0.045	2.30	0.55
Error	0.098	0.152	2.34	2.49
Heritability for cultivar differences	0.88	0.89	0.87	0.96
Heritability for treatment differences	0.67	0.92	0.62	0.94

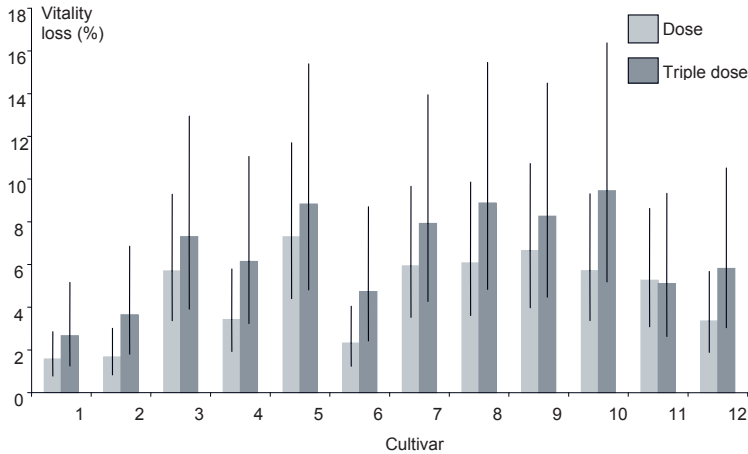
The significance test with logit-transformed data showed the same tendency (Tab. 2). With visual rating, the differences between cultivars and the dose effect was clearer.

**Tab. 2** F-test for cultivar and treatment effects on logit-transformed phytotox ratings (ratings from control plots not used).

**Tab. 2** *F-test für Sorten- und Behandlungseffekten auf die logit-transformierten Phytotoxwerte (Werte der Kontrollvarianten sind unberücksichtigt).*

Effect	Logit visual pct				Logit sensor pct			
	Num DF	Den DF	F value	Pr > F	Num DF	Den DF	F value	Pr > F
Cultivar	11	33	10.31	<.0001	11	33	7.78	<.0001
Treatment	1	3	20.30	0.0204	1	3	2.89	0.1879
Cultivar* Treatment	11	33	1.35	0.2442	11	33	0.46	0.9154

Nevertheless, treatment effects and cultivar differences were detectable with sensor measurement (Fig. 3). Confidence intervals for all cultivar\*treatment combinations were significantly different from zero. The highest vitality losses with more than 6 % from the recommended nicosulfuron dosage were achieved in the cultivars 5, 7, 8, 9 and 10, whereas in cultivar 1 and 2 only marginal vitality losses of 1-2 % could be achieved. The triple dosage of the recommended rate of nicosulfuron resulted in vitality losses of more than 8 % in the maize cultivars 5, 7, 8, 9 and 10.



**Fig. 3** Influence of nicosulfuron-dosages on sensor rated vitality loss (%) of different maize cultivars. Back-transformed means after logit-transformation; error bars = 95 % confidence intervals.

**Abb. 3** Einfluss von Nicosulfuron-Aufwandmengen auf den sensorisch bestimmte Vitalitätsverlust (%) verschiedener Maissorten. Rücktransformierte Mittelwerte nach logit-Transformation; Fehlerbalken = 95 % Konfidenzintervalle.

#### 4. Discussion

Herbicide applications resulted in high vitality and yield losses when applied in susceptible maize cultivars. The specific susceptibility of maize cultivars against sulfonyleurea type herbicides could be detected and quantified in a numerically manner by use of remote sensing. In sulfonyleurea susceptible plants, an herbicide attaching or binding to an enzyme (acetolactate synthase or ALS) is responsible for disrupting amino acid biosynthesis. Sulfonyleurea herbicide resistant plants have a modified ALS enzyme that prevents herbicide binding (HOCK et al., 1995). Different amounts of such enzymes within the different cultivars may influence their individual response to herbicides. Due to the possibility to normalize the grey values, it was possible to exclude the effects of cultivar specific reflectance patterns, which also may fudge visual ratings. However, parameter estimates and standard errors resulting from statistical treatment must be interpreted with care since the randomization of cultivars and treatments was restricted by technical reasons. Due to this lack of randomization, only one strip per cultivar was sown and divided into six plots by cross application of the herbicide and the control treatment. Hence cultivar effects and cultivar by treatment interaction might have been confounded with soil effects. For the control, only one row with twelve plots was available, for the single dose three rows and for the high dose two rows. Whereas cultivar and treatment effects might have been biased due to the lack of randomization, the method comparison of sensor measurements against visual ratings should still be valid. One question that generally comes up against sensor based approaches to quantify crop vitality is how to distinguish other factors affecting crop vitality like drought stress originating from soil heterogeneities, plant diseases or within field nutrition deficiencies etc. from the influences of herbicides. Most authors agree that all measurable information relating to the field of interest should be analyzed (LUSCHEI et al., 2001). In the last decades, geographical information systems and GPS guided sensors for measuring spatially referenced field information like within-field soil variation (CORVIN and LESCH, 2005), weed distribution (GERHARDS and CHRISTENSEN, 2003), yield variation (NOACK et al., 2003), etc. were developed and continually improved. DICKE and GEBHARDT (2007) showed how different thematic information can be merged to tables in order to distinguish the effects of each input factor and to study their specific interactions. However, in further experiments those additional influencing factors should be measured and analyzed. As a suggestion for future experiments, the herbicides of interest could be

applied in certain spatial patterns at different locations within the field. If the spatial patterns correspond to the spatial vitality patterns resulting from remote sensing, influences of herbicides on vitality would be evident. The influences of additional measured field information on crop vitality could be observed within the patterns and taken into account for analysis afterwards.

The current approach is (1) suitable for detecting herbicide injury in maize at early growth stages in a numerically manner, (2) all experimental plots can be analyzed in one run and thus (3) may cheapens company costs in field trial operations.

### Acknowledgements

The authors are grateful to Alfons Schönhammer (BASF-Company) for the financial support of helicopter flights and Dirk Böckenhoff (BASF-Company) for visual ratings in 2006 and to Markus Himmelmann for ground truth-observations and calculations. This study was realized at University of Bonn, Institute of Crop Science and Resource Conservation.

### References

- CORWIN, D.L. AND S.M. LESCH, 2005: APPARENT SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY MEASUREMENTS IN AGRICULTURE. *COMPUTER AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE* **46**, 11-43.
- DICKE, D. AND W. KÜHBAUCH, 2005: EINSATZ VON SATELLITENGESTÜTZTER FERNERKUNDUNG ZUR FRÜHERKENNUNG VON HERBIZIDBEDINGTEN SCHÄDEN IN MAIS. IN: LECTURE NOTES IN INFORMATICS **35**, pp. 355-359.
- DICKE, D. AND S. GEBHARDT, 2007: TESTING DECISION RULES FOR SOWING AND NITROGEN FERTILIZATION OF CEREALS, AT SITES OF HIGH SOIL VARIABILITY - A GIS APPROACH FOR ON-FARM RESEARCH. IN J. STAFFORD AND A. WERNER (EDS.), *PRECISION AGRICULTURE '07*, pp. 731-736.
- DONALD, W.W., 1998: ESTIMATING RELATIVE CROP YIELD LOSS RESULTING FROM HERBICIDE DAMAGE USING CROP GROUND COVER OR RATED STUNTING, WITH MAIZE AND SETHOXIDIM AS A CASE STUDY. *WEED RESEARCH* **38**, 425-431.
- FRANK, R., G.J. SIRONS AND G.W. ANDERSON, 1983: ATRAZINE: THE IMPACT OF PERSISTENT RESIDUES IN SOIL ON SUSCEPTIBLE CROP SPECIES. *CANADIAN JOURNAL OF SOIL SCIENCES* **63**, 315-325.
- GERHARDS, R. AND S. CHRISTENSEN, 2003: REAL-TIME WEED DETECTION, DECISION MAKING AND PATCH SPRAYING IN MAIZE, SUGAR-BEET, WINTER WHEAT AND WINTER BARLEY. *WEED RESEARCH* **43**, 385-392.
- HENRY, W. B., D.R. SHAW, K. R. REDDY, L.M. BRUCE AND H.D. TAMHANKAR, 2004: REMOTE SENSING TO DETECT HERBICIDE DRIFT ON CROPS. *WEED TECHNOLOGY* **18**, 358-368.
- HOCK, B., C. FEDTKE AND R.R. SCHMIDT, 1995: HERBIZIDE- ENTWICKLUNG, ANWENDUNG, WIRKUNGEN, NEBENWIRKUNGEN. GEORG THIEME VERLAG, STUTTGART-NEW YORK, 358 PP.
- JACOBI, J. AND W. KÜHBAUCH, 2005: SITE-SPECIFIC IDENTIFICATION ON FUNGAL INFECTION AND NITROGEN DEFICIENCY IN WHEAT CROP USING REMOTE SENSING. IN J. V. STAFFORD AND A. WERNER (EDS.), *PRECISION AGRICULTURE '05*, pp. 73-80.
- LUSCHEI, E.C., B.D. VAN WYCHEN, A.J. MAXWELL, D. BUSSAN, D. BUSCHENA AND D. GOODMAN, 2001: IMPLEMENTING AND CONDUCTION ON-FARM WEED RESEARCH WITH THE USE OF GPS. *WEED SCIENCE* **49**, 536-542.
- ROUSE, J.W. JR., R.H. HAAS, J.A. SCHELL AND D.W. DEERING, 1973. MONITORING VEGETATION SYSTEMS IN THE GREAT PLAINS WITH ERTS. *PROCEEDINGS OF THE 3RD ERTS SYMPOSIUM, NASA SP*, 309-317.
- NOACK, P.O., T. MUHR AND M. DEMMEL, 2004: RELATIVE ACCURACY OF DIFFERENT YIELD MAPPING SYSTEMS INSTALLED ON A SINGLE COMBINE HARVESTER. IN J. V. STAFFORD AND A. WERNER (EDS.), *PRECISION AGRICULTURE '04*, pp. 451-456.
- SPOMER, L. AND M.A.L. SMITH, 1988: IMAGE ANALYSIS FOR BIOLOGICAL RESEARCH: CAMERA INFLUENCE ON MEASUREMENT ACCURACY. *INTELLIGENT INSTRUMENTS AND COMPUTERS* **6**, 201-216.
- THEUNISSEN, J. AND H. LEGUTOWSKA, 1992: OBSERVERS' BIAS IN THE ASSESSMENT OF PEST AND DISEASE SYMPTOMS IN LEEK. *ENTOMOLOGIA EXPERIMENTALIS APPLICATA* **64**, 101-109.
- WEIDENHAMMER, J.D., G.B. TRIPLETT AND F.E. SOBOTKA, 1989: DICAMBA INJURY TO CORN. *AGRONOMY JOURNAL* **81**, 637-643.





## Precision weed control in sunflower and maize - experiences from Hungary

*Präzise Unkrautkontrolle in Sonnenblume und Mais - Erfahrungen aus Ungarn*

Tamas Komives<sup>1\*</sup> & Peter Reisinger<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Plant Protection Institute of the Hungarian Academy of Sciences, 1022 Budapest, Herman O. u. 15, Hungary

<sup>2</sup>University of West-Hungary, Faculty of Agricultural and Food Sciences, 9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2, Hungary

\*Corresponding author, tkom@nki.hu

DOI: 10.5073/jka.2012.434.025

### Summary

In recent years, a Hungarian private farm in Zimány (Southern Hungary) systematically built-up and developed its spatial information infrastructure and enabled us to carry out research on and development of site-specific weed management methods. Over the past four years, our goals were to improve weed control efficacy and to reduce the amount of herbicides applied. We a) developed an off-line, map-based method for pre-emergent precision herbicide treatments to control weeds in maize and sunflower (our application algorithm is based on the humus content and an empirical plasticity index of the soil), and b) in on-line precision post-emergent in-row treatments in maize we used a novel approach to mount mechanically shielded WeedSeeker (NTech Industries) sensor-sprayers on a precision cultivator (Garford Farm Machinery) in order to apply a non-selective (total) herbicide (glyphosate) safely under the leaf canopy.

**Keywords:** GPS, herbicides, precision agriculture, sensor-sprayers, site-specific weed management

### Zusammenfassung

In den letzten Jahren hat ein privater landwirtschaftlicher Betrieb in Zimány (Südungarn) seine räumliche Geoinformations-Infrastruktur deutlich verbessert und die Durchführung der Forschung und Entwicklung von Methoden zur teilflächenspezifischen Unkrautmanagement ermöglicht. In den letzten vier Jahren entwickelten wir eine kartenbasierte Methode (Off-line) für a) Vorauflauf- Präzisionsherbizidbehandlungen in Mais und Sonnenblumen (der angewendete Algorithmus basiert auf dem Humus- und Sandgehalt des Bodens) und für b) Nachauflauf- Präzisionsherbizidanwendungen in Reihen-Kulturen, die eine zwei-Komponenten-Herbizidkombination mit variabler Zusammensetzung verwendet (die Dosis und der Anteil der Herbizide ist dichte basiert). In Online-Präzisionsbehandlungen für Nachauflauf-Unkraut in Mais haben wir WeedSeeker (NTech Industries, USA) Sprühergeräte verwendet, um die Herbizide unter dem Blätterdach anzuwenden.

**Stichwörter:** GPS, ortsspezifische Unkrautbekämpfung, teilflächenspezifische Landwirtschaft

### 1. Introduction

During the last two decades, agriculture in Hungary has been completely restructured because of the political and social changes. Most importantly, small private farms replaced the large state-owned cooperatives. Unfortunately, the majority of the new enterprises lacked and many of them still lack the equipment and professional knowledge necessary for good agricultural practice. As a result, agricultural output (quantity and quality) sharply declined and high amounts of weeds in the agricultural fields became a major problem (still unsolved today: large seed banks of noxious weeds can be found in the soils of the majority of farmlands). Thus, in plant protection research we gave high priority to efficient methods of weed control, such as precision weed management.

Under the capital-poor conditions in Hungary, we first focused our research on off-line (map-based) methods (REISINGER et al., 2004) in contrast to the more advanced on-line techniques (GERHARDS et al., 2002; OEBEL et al., 2004) paying special attention to the relationship between soil properties and the efficacy of pre-emergent herbicides (REISINGER et al., 2008). Briefly, we found that the optimum dose of the pre-emergent herbicide (within the recommended range of the dose in the registration file) is linearly dependent on the humus content (H) and the empirical soil plasticity index of Arany ( $K_A$ ) used for estimating the soil water retention capacity (REISINGER et al., 2008).

Thus, after building the weed map of each field, a treatment regime was designed to be carried out at

a later date. The main problem with this method was that the control steps were extrapolated from data obtained earlier. Thus, weed control efficacy was highly dependent on the accuracy and resolution of the map and the predictive power of the data. We used this approach for developing pre-emergent herbicidal treatments in sunflower and maize.

It is important to note that pre-emergent herbicides can only be applied within a narrow dose range (typically 20 % below the maximum). Thus, the legal dose options are zero or one within this registered range. Since agricultural fields in Hungary are heavily infested with weeds, when pre-emergent herbicide application is part of the weed control technology, the complete field has to be treated.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Precision weed control in sunflowers

Investigations were carried out in 2008 in Zimány (Somogy county, Hungary) in a 30 ha field (no. 3104) managed by Farkas, Ltd. The soil type was Eutric Cambisol. Soil nutrient contents were determined in 2005 with a 3 ha sampling frequency. Phosphorus and potassium fertilizers were supplied by precision application during the fall. The experiments on precision weed control were a continuation of those by REISINGER et al. (2007).

The field was well managed: The soil contained relatively low amounts of viable weed seeds and vegetative propagules. Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) was the dominant weed but pigweed (*Amaranthus retroflexus*), lambsquarters (*Chenopodium album*), barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) and curly-top knotweed (*Polygonum lapathifolium*) were also present.

Sunflowers were seeded with  $\pm 2$ -cm accuracy (AgGPS autopilot system; Trimble, Sunnyvale, CA, USA). Immediately after seeding, a herbicide combination consisting of Racer (25 % fluorochloridone), Gesagard 500FW (50 % prometrin, since then banned from use), and Dual Gold 960EC (96 % S-metolachlor; all Syngenta, Switzerland) was applied. Standard doses of the above herbicides were 2.0, 1.0, 1.25 l/ha, respectively.

Soil samples were taken with a 'one sample per 3 ha'-frequency. Standard methods were used to determine the soil plasticity index of Arany ( $K_A$ ) and humus contents (H) (Tab. 1; REISINGER et al., 2008). These data were used to determine the herbicide doses (Fig. 1) applied at a given location in the field according to the empirical equation:

$$\text{Dose} = \text{Min} + 0.011(\text{Max} - \text{Min})(K_A + 9.0H)$$

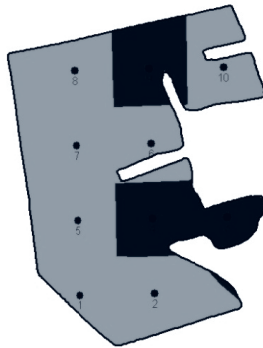
in which Min and Max are the minimum and maximum recommended doses of the herbicide and the empirical soil plasticity index of Arany ( $K_A$ ) and the humus content (H) are the site-specific variables (REISINGER et al., 2008). These parameters of the soil in the particular field were only slightly variable, resulting in minimum and maximum spray volumes of 250 and 260 l/ha, respectively (Fig. 1), within the registered dose range of the herbicide (220 to 270 l/ha).

**Tab. 1** Soil properties at the sampling sites used to calculate pre-emergent herbicide doses in sunflower.

**Tab. 1** *Bodeneigenschaften an den Probenahmestellen um die Aufwandmenge von Vorauflauf-Herbiziden in Sonnenblumen zu berechnen.*

Sampling site number	Longitude	Latitude	K <sub>A</sub>	H %
1	17.92673	46.53106	39	1.87
2	17.92898	46.53111	42	1.55
3	17.93116	46.53273	44	2.02
4	17.92890	46.53267	43	2.04
5	17.92882	46.53423	41	1.44
6	17.92874	46.53579	41	1.74
7	17.93099	46.53584	41	1.88
8	17.92648	46.53573	40	1.84
9	17.92656	46.53417	44	1.95
10	17.92664	46.53262	44	1.73

Herbicides were applied by a Spidotrain 2800/18 RAU machine (Kverneland Group, Kverneland, Norway), equipped with 12004 IDKT nozzles (Lechler GmbH, Metzingen, Germany). The instruction data set was uploaded in the tractor's on-board computer. After the calibration and setup was completed, spraying was controlled by the high-accuracy DGPS system and the on-board computer.



**Fig. 1** Map for the field application of the herbicides (spray volume in lighter areas 250l/ha and in darker areas 260 l/ha).

**Abb. 1** *Karte für den Feldeinsatz der Herbizide (Sprühvolumens in hellen Bereichen 250 l/ha und dunklen Bereiche 260 l/ha).*

Plants were seeded and the pre-emergent herbicide combination was applied on April 14, 2008. During May, a total of 37.5 mm rainfall was recorded and in June 33.2 mm.

In addition to the above-described field, precision weed control was used in four additional fields (97 ha in total) in 2008.

## 2.2 Precision weed control in maize

Earlier observations, recently summarized by NOVAK et al. (2009), suggested that in Hungary post-emergent weed control alone may be insufficient because of the large size of the weed seed-banks in the fields. Therefore, we designed a combination of pre-emergent and post-emergent herbicide treatments, applying the latter ones against emerging perennial weeds using a sensor-spraying equipment to control the weeds growing between the crop rows.

Investigations were carried out in Zimány in four maize fields (soil type: Eutric Cambisol, altogether 75.4 ha) managed by Farkas, Ltd. During seeding, rows were recorded with  $\pm 2$  cm accuracy. A pre-emergent herbicide combination (Lumax, containing mesotrione 37.5 g/l, S-metolachlor 37.5 g/l and terbuthylazine, 12.5 g/l, Syngenta, Switzerland) was used, primarily against annual weeds. Herbicide efficacy was very good, only Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) appeared sporadically in one field. Site specific application of the pre-emergent herbicides was carried out as described in 2.1. Soil parameters are listed in Table 2.

**Tab. 2** Soil properties at the sampling sites used to calculate pre-emergent herbicide doses in maize.

**Tab. 2** Bodeneigenschaften an den Probenahmestellen um die Aufwandmenge von Voraufbauherbiziden in Mais zu berechnen.

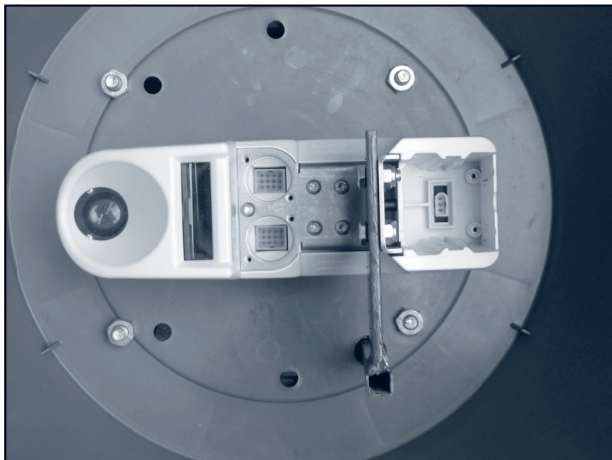
Sampling site number	Longitude	Latitude	K <sub>A</sub>	H %
1	17.91553	46.43788	41	1.57
2	17.91937	46.43687	38	1.67
3	17.92072	46.43773	41	1.75
4	17.92072	46.43773	37	2.16
5	17.92197	46.43680	40	2.25
6	17.92062	46.43593	41	1.82
7	17.91927	46.43507	39	1.95
8	17.92052	46.43414	38	1.91
9	17.92187	46.43500	41	2.20
10	17.92322	46.43586	41	1.95

For post-emergence treatments, a cultivator frame (Garford Farm Machinery, Peterborough, UK) was attached to the tractor. On the frame, seven plastic-container shielded WeedSeeker (NTech Industries, Ukiah, CA, USA) sensor-sprayers were mounted 76 cm apart (Fig. 2). WeedSeeker sensor sprayers are optoelectronic devices, in which an optical system analyzes the wavelength of reflected infrared light. Light reflected from chlorophyll containing plants activates the spray nozzle (LU 12004, Lechler GmbH, Germany). During our experiments, sprinkler heads were shielded by 60 cm diameter flexible plastic containers (Fig. 2 and 3). The tractor carried a 1000-liter water tank and an injector (Dosatron, Dallas, USA) to add formulated glyphosate herbicide concentrate (Amega 480SL, 48 % glyphosate ammonium active ingredient; Nufarm GmbH, Austria) amounts proportional to the volume of the spray solution.



**Fig. 2** WeedSeeker sensor-sprayers shielded by plastic container.

**Abb. 2** WeedSeeker, sensorgesteuertes Sprühgerät mit Kunststoff-Behälter zur Abschirmung.



**Fig. 3** WeedSeeker sensor-sprayer shielded by plastic container (bottom view).

**Abb. 3** WeedSeeker, sensorgesteuertes Sprühgerät mit Kunststoff-Behälter zur Abschirmung (von unten).

### 3. Results

#### 3.1 Precision weed control in sunflower

Following the completion of the herbicide treatment, a spraying map was constructed using the data recorded by the tractor's on-board computer.

Weed control efficacy was first evaluated on June 6, 2008, when sunflowers were in 6-8 leaf stage. The field was completely weed-free and there were no phytotoxic symptoms on the crop plants (Fig. 4).



**Fig. 4** Weed-free sunflowers (June 6, 2008).

**Abb. 4** Unkrautfreie Sonnenblumen (6. Juni 2008).

The second weed scouting was performed on July 11, 2008, during the time of sunflower blooming. Again, the field was completely weed-free.



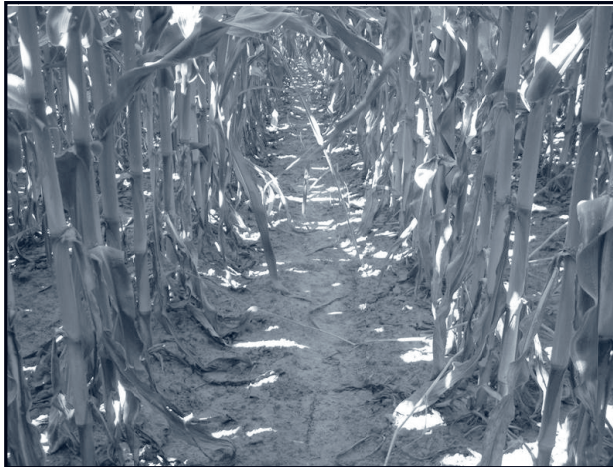
**Fig. 5** Weed-free sunflowers (July 11, 2008).

**Abb. 5** Unkrautfreie Sonnenblumen (11. July 2008).

Although herbicide saving in this particular field was not significant (<2 %), no herbicide phytotoxicity to the crop plants was observed: Their fitness was excellent and the yield high (3.6 t/ha).

### 3.2 Precision weed control in maize

In maize, the use of precision weed control by applying pre-emergent herbicides on 75.4 hectares led to a 14 % reduction in herbicide use and to savings 10.3 €/ha. The maize field remained weed-free until the end of the growing season (Fig. 7).



**Fig. 6** Weed-free maize field (July 19, 2008).

**Abb. 6** Unkrautfreies Maisfeld (19. July 2008).

In Hungary, pre-emergent herbicides are still used widely, although it is known that these herbicides cannot control perennial weeds (e.g. Canada thistle [*Cirsium arvense*]), and are inefficient in the absence of soil humidity. To improve weed control in such cases, we developed a method in which glyphosate is sprayed by WeedSeeker sensors directed under the canopy of the crop plant.



**Fig. 7** Control of Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) in maize by precision application of glyphosate (front: treated, back: untreated; July 19, 2008).

**Abb. 7** Kontrolle von Bermudagrass (*Cynodon dactylon*) in Mais durch präzise Anwendung von Glyphosat (im Vordergrund: behandelt, im Hintergrund: unbehandelt; 19. July 2008).

It is interesting to note that the precision application of glyphosate on leaves of Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) between the rows led to an efficient control of this weed within the row, too, because the herbicide was translocated within the plant to parts of the plant that were unexposed.

Following the development of the method, precision pre-emergence herbicide applications in maize were successfully used in increasing areas around Zimany, expanding to 201 ha in 2011.

#### 4. Discussion

We developed precision weed control methods for sunflower and corn and used them in large agricultural fields. Weed maps created in earlier years were used to design the control measures. This off-line approach was preferred because the other input data (related to soil properties) were already available. Our approach was especially successful in fields with highly variable terrain conditions: We reduced the costs of weed control and the risk of crop damage by herbicide overdose.

In sunflower, failure of pre-emergent treatments because of rainfall deficit may be successfully counteracted by mechanical weed control using a ridge-plough to turn a thick layer of soil in the row, thereby controlling the weeds growing in the rows, as well. This solution meets the requirements of integrated weed management.

In maize, soil properties were used to calculate the site-specific dose of the pre-emergent herbicide. In case of insufficient efficacy, we recommend a precision, post-emergent application of the non-selective (total) herbicide glyphosate sprayed under the canopy. The herbicide-saving, environment-friendly use of the WeedSeeker sensor provides a solution which combines the map-based and on-line methods. The first use of mechanically shielded WeedSeeker sensor-sprayers in order to keep fields of row-crops weed-free after pre-emergent herbicide applications by applying a non-selective herbicide revealed that the device can be applied safely and successfully.

In summary, the use of site-specific weed control methods allows a significant reduction in environmental pollution, a major goal of the European Union (NORDMEYER, 2006).

#### Acknowledgements

We thank the European Commission, DG Environment for financial support (HALT AMBROSIA, 07.0322/2010/58340/SUB/B2) and the National Development Agency of Hungary (Project No.: TÁMOP-4.2.1.B-09/1/KONV-2010-0006) for funding part of this work and Farkas Kft. (Zimany, Hungary) for providing us with the precision equipments, facilities and land to perform the experiments of this study.

#### References

- GERHARDS, R., M. SÖKEFELD, A. NABAUT, R. THERGURG AND W. KÜHBAUCH, 2002: ONLINE WEED CONTROL USING DIGITAL IMAGE ANALYSIS. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 421-427.
- NORDMEYER, H. 2006: TEILFLÄCHENUNKRAUTBEKÄMPFUNG IM RAHMEN DES REDUKTIONSPROGRAMMS CHEMISCHER PFLANZENSCHUTZ. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XX** 165-172.
- NOVÁK R., I. DANCZA, L. SZENTÉY AND J. KARAMÁN, 2009: ARABLE WEEDS OF HUNGARY MINISTRY OF AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT, BUDAPEST (HUNGARY) 95 P.
- OEBEL, H., R. GERHARDS, G. BECKERS, D. DICKE, M. SÖKEFELD, R. LOCK, A. NABAUT AND R.D. THERBURG, 2004: SITE-SPECIFIC WEED CONTROL USING DIGITAL IMAGE ANALYSIS AND GEOREFERENCED APPLICATION MAPS - FIRST FIELD EXPERIENCES. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XIX** 459-465.
- REISINGER P., ZS. PECZE AND B. KISS, 2008: PRECISION DEVELOPMENTS IN THE PREEMERGENT WEED CONTROL OF SUNFLOWER. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 177-180.
- REISINGER P., ZS. PECZE AND O. PÁLMAI, 2007: EVALUATION AND CONSIDERING SOIL PLASTICITY INDEX AND HUMUS CONTENT WHEN PLANNING PRECISION WEED CONTROL TECHNIQUES (IN HUNGARIAN). HUNGARIAN WEED RESEARCH AND TECHNOLOGY **8**, 59-66.



## Selektive Unkrautbekämpfung mittels Lasertechnik

*Selective weed control using laser techniques*

Christian Marx<sup>1,2\*</sup>, Julio Pastrana-Peréz<sup>1</sup>, Michael Hustedt<sup>2</sup>, Stephan Barcikowski<sup>3</sup>, Heinz Haferkamp<sup>2</sup> & Thomas Rath<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Leibniz Universität Hannover, Institut für Biologische Produktionssysteme, Fachgebiet Biosystem und Gartenbautechnik, Herrenhäuser Straße 2, D-30419 Hannover

<sup>2</sup>Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, D-30419 Hannover

<sup>3</sup>Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Technische Chemie I, Universitätsstraße 7, D-45141 Essen

\*Korrespondierender Autor, marx@bgt.uni-hannover.de/c.marx@lzh.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.026

### Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden technische und wachstumsrelevante Aspekte des Einsatzes von Lasertechnik zur Unkrautbekämpfung vorgestellt. In der Erforschung thermischer Unkrautbekämpfung mittels Laser stand zunächst die Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und Unkrautpflanze im Vordergrund. Nach Auswahl eines CO<sub>2</sub>-Lasers auf Basis erster Ergebnisse wurde für weitere Studien unter Berücksichtigung der Faktoren Laserenergie, Laserspotfläche, Abdeckung des Meristems, Unkrautart und Unkrautwuchsgröße die letale Schädigung modelliert. Dies wurde für die untersuchte Unkrautpflanze *Amaranthus retroflexus* dargestellt. Das Modell diente der Festlegung der online zu applizierenden Laserenergie. Darüber hinaus wurde die für eine wirksame Schädigung erforderliche Laserstrahlpositionierung untersucht sowie ein Testsystem entworfen. Mithilfe aktueller Bildverarbeitungsalgorithmen zur Unkrauterkenntnis und zur Bestimmung der Zielobjekte wurde eine Laser-Servomotor-Ansteuerung entwickelt. Das Projekt, in dessen Rahmen wesentliche Teile dieses Beitrages durchgeführt wurden, wird unter dem Titel „Untersuchungen zur Laserlichtwirkung auf der Basis von Bildanalysen auf juvenile Pflanzen zur Unkrautregulierung“ von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

**Stichwörter:** Laser-Applikation, Schädigungsmodell, Unkrautbekämpfung, Zielfindung

### Summary

This contribution discusses technical and growth relevant aspects of using laser techniques for weed control. The research on thermal weed control via laser first focused on the interaction of laser beams and weed plants. Due to preliminary studies, a CO<sub>2</sub>-laser was selected for further studies with regard to the process factors laser energy, laser spot area, coverage of the weeds meristem, weed species (*Amaranthus retroflexus*), and weed growth stage. Thereby, the laser damage was modeled in order to control the necessary laser output power online. Furthermore, the beam positioning leading to an effective damaging of the weeds was investigated and a test device was designed. With the aid of contemporary image processing algorithms for weed recognition and meristem determination, a laser and servo-motor control was developed. Most of the studies presented in this paper were part of the project "Investigations on laser light affected weed control of juvenile plants with the aid of image processing" funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft.

**Keywords:** Damage model, laser application, targeting, weed control

### 1. Einleitung

Alternative Verfahren der Unkrautbekämpfung im Feldanbau sind nach wie vor von Interesse. Mechanische Techniken sind in der Pflanzreihe jedoch meist nicht praktikabel. Konventionell thermisch-wirkende Abflamm-Systeme sind mit relativ hohen Energiekosten verbunden, auch wenn sie effektiv eingesetzt werden können (BERTRAM, 1996; ASTATKIE et al., 2007; RAFFAELLI et al., 2011). Dabei kann die Effizienz der Applikation grundlegend durch eine Erhöhung der Selektivität gesteigert werden. Dies gelingt jedoch nur, wenn die thermische Energie lokal wirkt. Als mögliches Werkzeug steht dafür die Lasertechnik zur Verfügung. Dabei sind Kenntnisse über die schädigende Wirkung von Laserstrahlung auf Pflanzengewebe erforderlich. Es ist bekannt, dass MIR-Strahlung (z.B. CO<sub>2</sub>-Laser-Strahlung) direkt an der Oberfläche absorbiert wird und nach Überschreiten bestimmter Strahlungsenergien oberflächliche Verbrennungen hervorruft. NIR-Strahlung (z.B. von Nd:YAG- oder Diodenlasern) dringt aufgrund geringerer Absorption in tiefere Gewebeschichten ein und ruft dort Schäden hervor. Laserstrahlung kann somit das thermische Gleichgewicht einer Pflanze beeinflussen.

Ab einer bestimmten Intensität wird das Gewebe durch thermodynamische Wärmetransport-Mechanismen partiell zerstört. COUCH und GANGSTAD untersuchten die Wechselwirkungen von Laserstrahlung und Blattgewebe bereits im Jahr 1974. BAYRAMIAN et al. (1992) konnten trotz erheblicher Wachstumsreduktion von Unkräutern nach CO<sub>2</sub>-Laserbestrahlung keine vollständige Bekämpfung realisieren. Die Ergebnisse wurden auch unter Feldbedingungen eruiert (BAYRAMIAN et al., 1993). HOKI (2000) bestrahlte junge Reispflanzen mit Laserstrahlung unterschiedlicher Wellenlängen (532 nm und 1064 nm). Er ermittelte Dosis-Wirkungs-Beziehungen, die jedoch weder einheitlich noch konsistent waren. Daraufhin führten HEISEL et al. (2001, 2002) Experimente durch. Sie bestrahlten die Sprosse von drei Pflanzenarten und ermittelten den Einfluss der Laserenergie und der gewählten Schneidposition. Mit diesen Ergebnissen patentierten CHRISTENSEN et al. (2003) ein System zur Differenzierung und gezielten Laserbestrahlung von Pflanzensprossen zur Hemmung des Unkrautwachstums. Die mit der horizontalen Erkennung und Laserapplikation verbundenen Probleme behinderten jedoch eine praktikable Umsetzung. LANGNER et al. (2006) verwendeten einen CO<sub>2</sub>- und einen Nd:YAG-Laser. Aufgrund einer schlechten Zielgenauigkeit und des fortgeschrittenen Alters der Unkrautpflanzen ermittelten sie eine ungünstige Energiebilanz für eine wirksame Behandlung. MATHIASSEN et al. (2006) führten Untersuchungen mit einem handgeführten Lasersystem durch. Sie bestrahlten die Meristeme von drei dikotylen Unkrautarten (*Brassica napus*, *Stellaria media*, *Tripleurospermum inodorum*) und stellten den Einfluss der Parameter Strahldurchmesser ( $\varnothing$  0,9 bis  $\varnothing$  2,4 mm), Wellenlänge (532 und 810 nm) und Energiedichte (0,6 bis zu 49,7 J/mm<sup>2</sup>) in Dosis-Wirkungs-Beziehungen dar. MATHIASSEN et al. (2006) kamen zu dem Schluss, dass eine Optimierung der Zielgenauigkeit, des Strahldurchmessers und der applizierten Energiedichte die Laser-Anwendung verbessern kann. WÖLTJEN et al. (2008a, 2008b) untersuchten die schädigende Laserwirkung bei weiterhin manueller Positionierung bei einem Strahldurchmesser von  $\varnothing$  6 mm, zwei Wellenlängen (940 und 10600 nm) und Energiedichten bis 10 J/mm<sup>2</sup> an zwei Pflanzenarten (monokotyle Art: *Echinochloa crus-galli*, dikotyle Art: *Nicotiana tabacum*) in drei Wuchsstadien (bis zum 4-Blatt-Stadium). Die notwendige Laserenergie für eine letale Schädigung war demnach abhängig von der Wuchsgröße und der Pflanzenart. Junge Keimlinge konnten mit mindestens 35 J bekämpft werden. NADIMI et al. (2009) untersuchten den Einfluss praxisnaher Bedingungen auf eine Laserapplikation. Auf Förderbändern wurden die Pflanzen unter Stereo-Kameras zur Zielerfassung hindurch bewegt. Ein Laserstrahl sollte auf die empfindlichen Meristeme mittels eines Galvanometer-Spiegelsystems gelenkt werden. Obwohl erste Tests erfolgreich waren, traten Probleme bei der exakten Erfassung der Meristeme und der Positionierung des Laserstrahles auf.

## 2. Zielsetzung

Die Unkrautbekämpfung mittels Lasertechnik ist teilweise erforscht. Die bisherigen Untersuchungen zeigten, dass eine erfolgreiche Laser-Applikation sowohl von pflanzenbaulichen als auch von technischen Parametern abhängt.

Ziel ist es daher,

1. die Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Unkrautpflanze in einem Schädigungsmodell zu beschreiben und
2. ein Testsystem zur Validierung der Laserapplikation bei beliebigen Unkrautsituationen zu entwickeln und zu validieren.

## 3. Material und Methoden




### 3.1 Entwicklung des Schädigungsmodells

Die Ähnlichkeit zwischen Unkraut- und Kulturpflanze im frühen Wuchsstadium bestimmt die Bedeutung von Unkräutern in landwirtschaftlichen Kulturen. Daher wurde eine häufig vorkommende Unkrautart ausgewählt, um die dikotylen Unkräuter im Intensivanbau zu vertreten. Das Unkraut wurde aus Samen (Herbiseed) mit Potgrond P (Klaasmann-Deilmann GmbH) in Töpfen TEKU JP 3040/104 H (Pöppelmann GmbH & Co. KG) angebaut. Das Substratvolumen (20 ml) bot ausreichenden Wurzelraum und ausreichende Nährstoffversorgung für die untersuchten Wuchs-

stadien, was daraus gefolgert wurde, dass sich keine Unterschiede zu Pflanzen im Saatbeet zeigten. Die Unkrautsamen keimten jedoch heterogen, so dass sie in homogene Gruppen (Tab. 1) sortiert werden mussten. Die Pflanzen wurden im Gewächshaus kultiviert. In der kühlen und lichtschwachen Jahreszeit wurde Assimilationsbelichtung angewandt (3 SON-T Lampen à 400 W). An sonnigen, warmen Tagen wurden die Temperatursollwerte im Pflanzenbestand auch unter einem Schattiernetz überschritten. Diese saisonalen Unterschiede wurden durch die Frischmassebestimmung unbehandelter Pflanzen am Tag der Bestrahlung sowie am Tag der Auswertung (14 Tage später) berücksichtigt. Auf diese Weise konnten die Effekte durch die Laserbestrahlung immer auf unbehandelte Pflanzen unter gleichen Wachstumsbedingungen bezogen werden. Um phytopathologische Schäden durch bodenbürtige Pilzkrankheiten zu vermeiden, wurde jeweils 0,25 %iges Previcur N (Bayer CropScience AG) angewendet. Trauermücken und andere Fluginsekten wurden mit Gelbtafeln (Aeraxon Insect Control GmbH) erfolgreich bekämpft.

**Tab. 1** Kenngrößen der Versuchspflanzen.

**Tab. 1** Features of the test plants.

Unkrautart	Amaranthus retroflexus (AMARE)		
	10	12	14
Wuchsstadium (BBCH, nach MEIER (2001))	10	12	14
Bild (einheitlicher Maßstab)			
Frischgewicht (mg)	8 ± 3	45 ± 12	170 ± 54
Anteil Trockenmasse (%)	9,0 ± 2,7	10,0 ± 2,4	11,9 ± 2,8
Wuchshöhe (mm), ca.	30	40	60

Auf Grundlage von Voruntersuchungen bzgl. der wellenlängenabhängigen, letalen Laserenergie (vgl. WÖLTJEN et al., 2008a) wurde ein CO<sub>2</sub>-Laser DIAMOND K-500 (Coherent Inc.) gewählt. Die Laserleistung wurde mittels Pulsweitenmodulation bei einer festen Pulsperiode von 2000 µs und Pulsbreiten zwischen 5 und 320 µs variiert (siehe Laser-Fluenz in Tab. 2). Verschmutzungen der Laserlinse wurden mittels Stickstoff-Spülgas vermieden. Die rechteckige Form der Pflanztöpfe wurde für eine zufällige Ausrichtung der Pflanzen und ihrer Blattstellung relativ zum Laser genutzt. Mithilfe eines Pilotlasers (HeNe-Laser) wurde jedes Unkraut manuell auf der Verfahrachse (CNC gesteuert) positioniert. Mit der Verfahrachse wurden verschiedene Laserspotpositionen realisiert, indem das Unkraut je nach Spotgröße so verschoben wurde, dass die prozentualen Deckungsflächen konstant blieben (siehe Laserspotposition Tab. 2). Die verschiedenen Laserspotdurchmesser wurden über den Abstand zwischen Pflanzenmeristem und Laserlinse eingestellt (defokussierter Laserstrahl; siehe Laserspotgröße in Tab. 2). Um stabile und reproduzierbare Resultate zur erreichen, wurde eine relativ lange Bestrahlungsdauer von 500 ms gewählt. Es wurden Unkrautpflanzen in unterschiedlichen Wuchsstadien behandelt (Tab. 2). Für jeden Versuchsparameter in Tabelle 2 wurden 10 Wiederholungen durchgeführt.

**Tab. 2** Versuchsparameter.

**Tab. 2** Experimental parameter.

Wuchsstadium (BBCH-Code)	Laser-Fluenz	Laserspotgröße (Laserspotfläche)	Laserspotposition
w1 Keimling (10)	d1 frühe Kontrolle	s1 ø 3,0 mm (7 mm <sup>2</sup> )	p1 mittig
w2 2-Blatt Stadium (12)	d2 späte Kontrolle	s2 ø 4,2 mm (14 mm <sup>2</sup> )	p2 49 % Deckung zu p1
w3 4-Blatt Stadium (14)	d3 0,08 J mm <sup>-2</sup>	s3 ø 6,0 mm (28 mm <sup>2</sup> )	p3 8 % Deckung zu p1
	d4 0,31 J mm <sup>-2</sup>		
	d5 0,63 J mm <sup>-2</sup>		
	d6 1,25 J mm <sup>-2</sup>		
	d7 2,50 J mm <sup>-2</sup>		
	d8 5,00 J mm <sup>-2</sup>		

Eine effektive Bekämpfung ist nur bei einer letalen Schädigung der Unkrautpflanzen gegeben. Daher wurden die gemessenen Frischgewichte ins Verhältnis zu den unbehandelten Kontrollen gesetzt. Die Bestrahlung wurde als letal (binär 1) definiert, wenn dieses Verhältnis den Wert 0,1 nicht überschritt, andernfalls galt die entsprechende Bestrahlung als nicht-letal (binär 0). Mit einer Logit-Funktion und einer angenommenen Quasi-Binomial-Verteilung (MCCULLAGH und NELDER, 1989) wurde die dichotome Schädigung auf logarithmischer Skala der Erfolgswahrscheinlichkeit  $p_{\text{Erfolg}}$  beschrieben (Gl. 1), damit ergibt sich die Zielgröße L.

$$\ln \frac{p_{\text{Erfolg}}}{1-p_{\text{Erfolg}}} = L \quad (\text{Gl. 1})$$

Nach  $p_{\text{Erfolg}}$  aufgelöst ergeben sich die Erfolgswahrscheinlichkeiten (Gl. 2).

$$p_{\text{Erfolg}}(L) = \frac{1}{2} * (1 + \tanh \frac{L}{2}) \quad (\text{Gl. 2})$$

Nach statistischer Modellselektion mit der Funktion *variance inflation factor* in der Software R (2011) konnte folgende Modellgleichung aufgestellt werden (Gl. 3).

$$L = a_i + b_{i,j} * \text{Laserenergie (J)} + c * \text{Laserspotposition (\%)} \quad (\text{Gl. 3})$$

mit  $i = \{w1, w2, w3\}$  und  $j = \{s1, s2, s3\}$  für die Abhängigkeiten von der Wuchsgröße und der Laser-spotfläche.

### 3.2 Entwicklung eines Laserapplikations-Testsystems

Bei der Entwicklung des Testsystems wurde zunächst ein leistungsschwacher und somit ungefährlicher Laserpointer verwendet, um die Anforderungen an notwendige Lasersicherheitsmaßnahmen gering zu halten. Da der Laserstrahl in einem zukünftigen Applikationssystem über zwei servomotorisch verstellbare Spiegel (Galvanometer-Scanner) positioniert werden soll, wurde eine vergleichbare 2-Achs-Konstruktion entworfen. Dabei wurden zwei Digital-Servomotoren (HSR-5990TG, Hitec Inc.) verwendet, die über einen Servo-Controller (Mini Maestro 12, Polulu Corp.) mittels USB-Schnittstelle softwaregesteuert wurden (*Maestro Control Center* plus Treiber in der Linux-Version). Die Ansteuerung zur Ausrichtung des Lasers entsprach dabei der Strahlführung eines Scanners. Die Erfassung der mittels LEDs beleuchteten Unkrautsituation erfolgte mit zwei USB-Kameras (Microsoft LifeCam HD-3000), deren Bilder in einer Auflösung von 800 x 448 Pixeln über zwei vernetzte Netbooks (Asus EeePC 1015PN) bereitgestellt wurden. Ein weiterer Rechner diente der Datenverarbeitung hinsichtlich der Stereo-Kamera-Anordnung. Zur Erkennung der Unkrautpflanzen und zur Bestimmung der Zielposition wurden bestehende Algorithmen verwendet, die selbst bei teilweisen Überlappungen der Pflanzenblätter funktionieren (PASTRANA und RATH, 2008). Diese auf *Active-Shape-Modeling* basierenden Algorithmen wurden auf *A. retroflexus* ähnliche Modellpflanzen aus Polymer (PMMA) angepasst. Die Modellpflanzen wurden verwendet, um leicht veränderbare, „pflegeleichte“ und standardisierte Unkrautsituationen bereitzustellen.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Letale Laserbestrahlungen

Die Bestrahlung der Unkrautpflanzen mit einem CO<sub>2</sub>-Laser führte zu signifikanten Wuchshemmungen. Bei den Wuchsgrößen w1 und w2 wurden bei Applikation der Maximalenergie alle Pflanzen letal geschädigt. Bei w3 gelang dies nur zu gut 50 %. Bei w1 und w2 führte die versetzt-positionierte Laserapplikation im Mittel zu einer Reduktion der letal geschädigten Pflanzen um 22 % bei p2 bzw. um 57 % bei p3 im Vergleich zu p1. Die zugrundeliegende Dosis-Wirkungs-Abhängigkeit korrelierte somit mit lasertechnischen und pflanzenbaulichen Einflüssen:

- Hohe Fluenzen führten vermehrt zu letalen Schädigungen. Da bestrahlte Unkrautpflanzen auch bei niedrigen Energiemengen letal reagierten, war bei intensiver Strahlung die Kombination von Schäden am Meristem sowie auch im Wurzelraum effektiv.

- Zentrale Treffer des Meristems begünstigten letale Schädigungen. Hohe Fluenzen kompensierten diesen Einfluss nur bedingt. Zugleich galt, dass ein zentraler Treffer bedeutender war, je größer die Unkrautpflanze war.
- Fortgeschrittenes Pflanzenwachstum erforderte höhere Fluenzen für ein vergleichbares Schädigungsmaß. Anhand der Unkrautpflanzen im 4-Blatt-Stadium zeigte sich, dass die maximal applizierten Energiemengen zu gering gewählt waren.

#### 4.2 Schädigungsmodell

Auf Grundlage der Bestrahlungserfolge an den untersuchten 1620 Einzelpflanzen wurden für den Modellansatz (Gl. 3) mit der Software R die optimalen Modellparameter ermittelt (Tab. 3).

**Tab. 3** Modellparameter zur Unkrautbekämpfung mittels Laserbestrahlung (siehe Gl. 3).

**Tab. 3** Model parameter for weed control using laser irradiation (see Eq. 3).

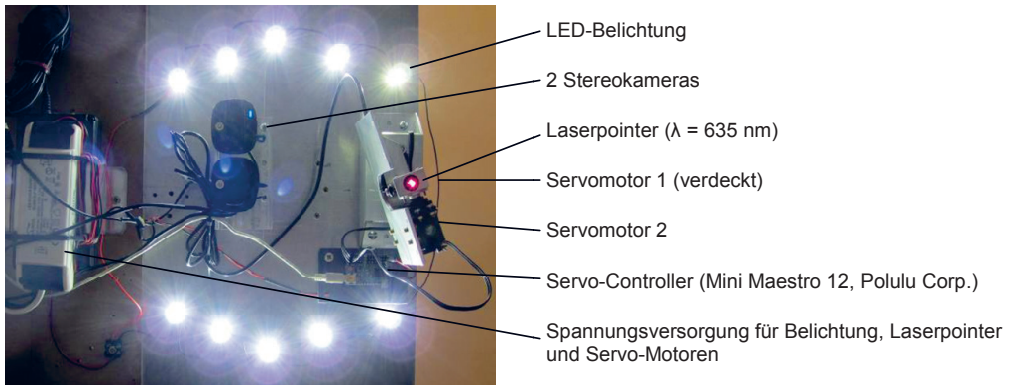
$a_{w1}$	$a_{w2}$	$a_{w3}$	$b_{w1,s1}$	$b_{w2,s1}$	$b_{w3,s1}$	$b_{w1,s2}$	$b_{w2,s2}$	$b_{w3,s2}$	$b_{w1,s3}$	$b_{w2,s3}$	$b_{w3,s3}$	$c$
-2.722	-4.790	-6.725	0.079	0.066	NA	0.043	0.120	0.054	0.028	0.053	0.030	3.713

Mit diesen Werten und mit Gl. 2 konnte die Wahrscheinlichkeit einer letalen Schädigung in Abhängigkeit von den lasertechnischen und pflanzenbaulichen Parametern ermittelt werden. Dies wurde mithilfe einer 10.000fachen Kreuzvalidierung (90 %:10 %, mit Zurücklegen) überprüft. Der mittlere Vorhersagefehler betrug dabei 8,9 % auf der Skala „Wahrscheinlichkeit einer letalen Bestrahlung ( $p_{\text{Erfolg}}$ )“. Aus den Vorhersagemodellen konnten die jeweils erforderlichen Laserenergien in J ermittelt werden, die bei 95 %iger Wahrscheinlichkeit einer letalen Schädigung appliziert werden mussten. Das Minimum lag bei 25 J für eine Applikation mit  $s1 = 7 \text{ mm}^2$  und  $p1 = 100 \%$  auf  $w1 = \text{BBCH } 10$ . Bei einer Applikation mit  $s3 = 28 \text{ mm}^2$  und  $p3 = 8 \%$  auf  $w3 = \text{BBCH } 14$  stieg die notwendige letale Dosis auf 317 J pro Pflanze. Die mittlere Laserspotfläche  $s2$  ( $14 \text{ mm}^2$ ) zeigte eine höhere Effektivität bei größeren Unkrautpflanzen. Die applizierte Energiemenge korrelierte somit mit der Laserspotfläche hinsichtlich des Bestrahlungserfolges. Eine letale Schädigung war abhängig vom Verhältnis des direkt zum indirekt thermisch belasteten Pflanzengewebe: Eine hohe Fluenz bei kleinen Laserspotflächen konnte das Pflanzenmaterial zwar perforieren, jedoch keine systemische Wirkung hervorrufen. Für jede Wuchsgröße gab es also eine optimale Laserspotgröße.

#### 4.3 Entwickeltes Laserapplikations-Testsystem

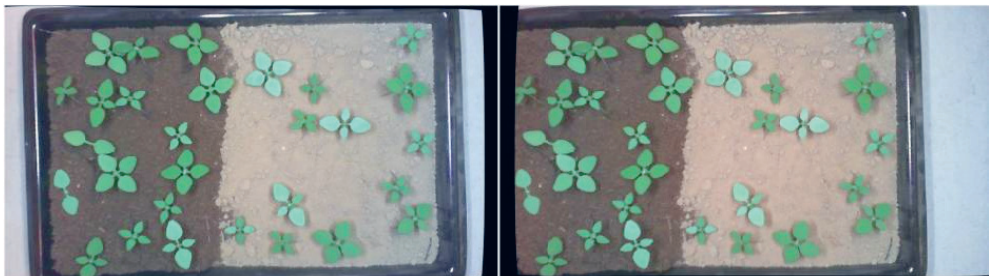
Die Anordnung der Stereo-Kameras zusammen mit dem Belichtungs- und Positioniersystem wurde auf eine stabile Halterung montiert und diese 70 cm über dem Boden befestigt (Abb. 1). Dabei schnitten sich die rechtwinkligen Drehachsen der Servomotoren im Mittelpunkt der Linse des Laserpointers. Die Stereo-Kameras mussten seitlich versetzt montiert werden, um ausreichend Platz für die Drehbewegungen der Servomotoren zu bieten.

Aufgrund realer Abweichungen gegenüber den Sollpositionen (unbekannte Kippwinkel der Kamera-chips auf ihren Platinen) wurden die Kameras mittels Ausgleichsverfahren anhand einer Reihe von Testaufnahmen eines bekannten Schachbrettmusters sphärisch entzerrt und kalibriert (BRADSKI und KAEHLER, 2008). Die Schnittmengen der Stereobilder (Abb. 2) wurden in einer *disparity map* abgebildet, um aus den 2D-Bildern eine 3D-Information zu gewinnen und eine Höhenkorrektur gegenüber der Ebene „Bodenoberfläche“ zu ermöglichen (Abb. 3).



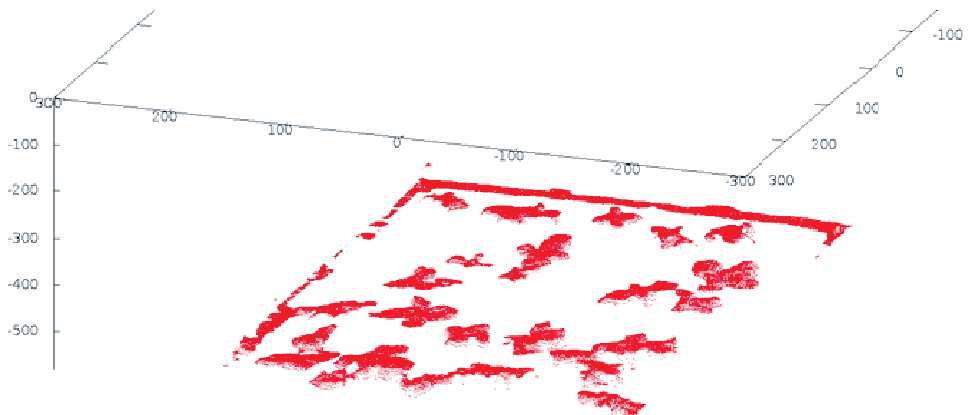
**Abb. 1** Kamera- und Belichtungstechnik sowie Laserstrahlpositionierung via Servomotoren.

**Fig. 1** The camera and lighting construction together with the laser beam positioning via servo motors.



**Abb. 2** Stereo-Kameratechnik mit planaren Bildern.

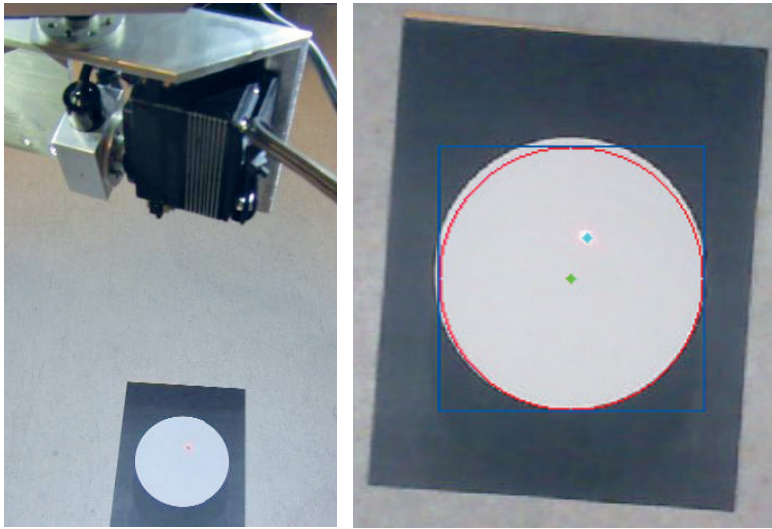
**Fig. 2** Stereo-camera vision with planar images.



**Abb. 3** Errechnete 3D-Szene auf Basis der *disparity map* in Realkoordinaten (mm); der Bildmittelpunkt der linken Stereokamera ist der Bezugspunkt (0;0;0).

**Fig. 3** Computed 3D-scene on the basis of the *disparity map* in spatial coordinates (mm); the principal point of the left stereo camera is the reference point (0;0;0).

Auch das verwendete 2-Achs-Positioniersystem musste aufgrund realer Abweichungen von den Sollpositionen (unbekannt deformierte Achsen, unbekannte Wiederholgüte, Temperatureinflüsse) auf das Stereo-Kamerasystem kalibriert werden. Dies erfolgte mittels einer 3D-Korrekturprozedur, wobei generativ viele Sollpositionen innerhalb eines Kalibrationskreises angesteuert und die wahren Positionen nach Erkennung des Laserspots durch das Stereo-Kamerasystem ausgewertet wurden (Abb. 4). Somit ergaben sich die Korrekturfaktoren für die Translation und Rotation der Relativkoordinatensysteme bzgl. der Globalkoordinaten.



**Abb. 4** Kalibration der Laserstrahlpositionierung zum Stereo-Kamerabild mit Erkennung des Laserspots auf Basis eines Schwellenwertes relativ zum Bildhintergrund.

**Fig. 4** Calibration of the laser beam positioning onto the stereo camera image with the detection of the laser spot based on a threshold relative to the background.

## 5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Bekämpfung juveniler Unkrautpflanzen (*A. retroflexus*) mittels Lasertechnik konnte in einem Schädigungsmodell abgebildet werden. Die Applikationsenergie ist dabei im Wesentlichen abhängig von einer zur Wuchsgröße des Unkrautes passenden Laserspotfläche in unmittelbarer Nähe zum Meristem. Für eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit einer letalen Schädigung beträgt die minimale Applikationsenergie 25 J. Dieser Wert wird jedoch maßgeblich von der Treffergenauigkeit des Laserstrahls beeinflusst. Mit Hilfe des entwickelten Modells ist es möglich, Lasersysteme entsprechend den Anforderungen an den Bekämpfungserfolg anzusteuern und zu parametrisieren.

Das entwickelte Testsystem ist aufgrund der implementierten Triangulation in der Lage, Laserstrahlen zielgerichtet im 3D-Raum zu positionieren. Durch fortwährend durchgeführte Kalibrierungsalgorithmen ist eine Anpassung an unbekannte und komplexe Umgebungen begrenzt möglich. Das Testsystem stellt somit ein sehr nützliches Hilfsmittel dar, um Laserapplikationen zu bewerten und technisch zu optimieren.

In einem nächsten Schritt sollen das Testsystem und das entwickelte Schädigungsmodell zusammengeführt werden, um in realen Unkrautsituationen Grenzwerte hinsichtlich Applikationsgeschwindigkeit und Unkrautbesatz experimentell zu ermitteln. Dabei werden Untersuchungen zum Einfluss der Bestrahlungsdauer bei konstanter Energiemenge integriert. Abschließend müssen die Systeme im Hinblick auf die praktikable Umsetzung prozess- und kulturtechnisch auf reale Feldbedingungen übertragen werden.

## Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Unterstützung des Forschungsvorhabens „Untersuchungen zur Laserlichtwirkung auf der Basis von Bildanalysen auf juvenile Pflanzen zur Unkrautbekämpfung“ (Förderkennzeichen HE 5989/1 und RA 790/5), in dessen Rahmen große Teile der hier beschriebenen Arbeiten durchgeführt wurden.

## Literatur

- ASTATKIE, T., M.N. RIFAI, P. HAVARD, J. ADSETT, M. LACKO-BARTOSOVA UND P. OTEPKA, 2007: EFFECTIVENESS OF HOT WATER, INFRARED AND OPEN FLAME THERMAL UNITS FOR CONTROLLING WEEDS. *BIOLOGICAL AGRICULTURE AND HORTICULTURE* **25**, 1-12.
- BAYRAMIAN, A., P.K. FAY UND W.E. DYER, 1992: WEED CONTROL USING CARBON DIOXIDE LASERS. *PROCEEDINGS OF THE WESTERN SOCIETY OF WEED SCIENCE* **45**, 55-56. SALT LAKE CITY (UT), USA, 10-12 MARCH 1992.
- BAYRAMIAN, A., P.K. FAY UND W.E. DYER, 1993: WEED CONTROL USING LASERS. *SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURE* **5**, 2.
- BERTRAM, A., 1996: GERÄTE- UND VERFAHRENSTECHNISCHE OPTIMIERUNG DER THERMISCHEN UNKRAUTBEKÄMPFUNG. DISSERTATION, TU MÜNCHEN, INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK (FREISING- WEIHENSTEPHAN).
- CHRISTENSEN, S., T. HEISEL UND J. SCHOU, 2003: SEVERING OR DAMAGING APPARATUS FOR UNWANTED PLANTS COMPRISES AN OPTICAL RECOGNITION SYSTEM THAT DIFFERENTIATES BETWEEN DIFFERENT TYPES OF PLANTS WITH A LIGHT GENERATING SOURCE TO EXPOSE THE PLANT TO ELECTROMAGNETIC RADIATION. PATENT-NUMMERN: AU9948982-A; WO200003589-A1. INTERNATIONAL PATENT CLASSIFICATION: A01M 021/00.
- BRADSKI, G. AND A. KAEHLER, 2008: LEARNING OPENCV: COMPUTER VISION WITH THE OPENCV LIBRARY. O'REILLY PRESS, 2008.
- COUCH, R. UND E.O. GANGSTAD, 1974: RESPONSE OF WATER-HYACINTH TO LASER RADIATION. *WEED SCIENCE* **22**, 450-453.
- HEISEL, T., J. SCHOU, S. CHRISTENSEN UND C. ANDREASEN, 2001: CUTTING WEEDS WITH A CO2 LASER. *WEED RESEARCH* **41**, 19-29.
- HEISEL, T., J. SCHOU, C. ANDREASEN UND S. CHRISTENSEN, 2002: USING LASER TO MEASURE STEM THICKNESS AND CUT WEED STEMS. *WEED RESEARCH* **42**, 242-248.
- HOKI, M., 2000: FUNDAMENTAL STUDY OF LASER APPLICATION FOR WEED AND PEST CONTROL EFFECT OF LASER EMISSIONS ON RICE PLANT LEAVES. *JOURNAL OF THE JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY* **62**, 98-103.
- LANGNER, H.R., D. EHLERT, M. HEISIG UND A. KIRSTE, 2006: THERMISCHE WIRKUNG VON LASERSTRAHLUNG AUF PFLANZEN. *LANDTECHNIK* **5**, 252-253.
- MATHIASSEN S.K., T. BAK, S. CHRISTENSEN UND P. KUDSK, 2006: THE EFFECT OF LASER TREATMENT AS A WEED CONTROL METHOD. *BIOSYSTEMS ENGINEERING* **95**, 497-505.
- MEIER, U., 2001: ENTWICKLUNGSSTADIEN MONO- UND DIKOTYLER PFLANZEN – BBCH MONOGRAFIE. 2. AUFLAGE, BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, BRAUNSCHWEIG.
- NADIMI, E.S., K.J. ANDERSSON, R.N. JORGENSEN, J. MAAGAARD, S. MATHIASSEN AND S. CHRISTENSEN, 2009: DESIGNING, MODELLING AND CONTROLLING A NOVEL AUTONOMOUS LASER WEEDING SYSTEM. 7TH WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 299-303. RENO (NV), USA, 22-24 JUNE 2009.
- PASTRANA-PERÉZ J. AND T. RATH, 2008: VISION BASED PLANT RECOGNITION UNDER OVERLAPPING SITUATIONS. *BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHTE, HEFT* **62**, 16-23. LEIBNIZ-INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK POTSDAM-BORNIM. ISSN 0947-7314.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011: R: A LANGUAGE AND ENVIRONMENT FOR STATISTICAL COMPUTING. R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING, VIENNA (AUSTRIA), [HTTP://WWW.R-PROJECT.ORG](http://www.R-project.org).
- RAFFAELLI, M., M. FONTANELLI, C. FRASCONI, F. SORELLI, M. GINANNI UND A. PERUZZI, 2011: PHYSICAL WEED CONTROL IN PROCESSING TOMATOES IN CENTRAL ITALY. *RENEWABLE AGRICULTURE AND FOOD SYSTEMS* **26**, 95-103.
- WÖLTJEN, C., H. HAFERKAMP, T. RATH UND D. HERZOG, 2008A: PLANT GROWTH DEPRESSION BY SELECTIVE IRRADIATION OF THE MERISTEM WITH CO2 AND DIODE LASERS. *BIOSYSTEMS ENGINEERING* **101**, 316-324.
- WÖLTJEN, C., T. RATH UND D. HERZOG, 2008B: INVESTIGATIONS ABOUT THE TECHNICAL BASICS OF LASER BEAM USE FOR PLANT MANIPULATION. *PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HIGH TECHNOLOGY FOR GREENHOUSE SYSTEM MANAGEMENT. NEAPEL (ITALIEN)*, 4.-6. OKTOBER 2007. *ACTA HORTICULTURAE* **801**, 587-594.



## Mehrjährige Versuchsergebnisse zum Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf die selektive Gräserkontrolle im Getreide

*Multiannual results on the influence of different application techniques on the efficacy of selective grass control in cereals*

Ralph-Burkhardt Toews<sup>1\*</sup>, Reinhard Friessleben<sup>1</sup> & Peter Naunheim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bayer CropScience AG, Alfred-Nobel-Str. 50, D-40798 Monheim,

<sup>2</sup>Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth- Selbert Str. 4a, D-40764 Langenfeld

\*Korrespondierender Autor, Burkhardt.Toews@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.027

### Zusammenfassung

Die erfolgreiche Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) wird neben der Terminwahl, der Produktwahl und der Aufwandmenge auch von der richtigen Applikationstechnik beeinflusst. Hierzu wurden in den Jahren 2004 bis 2010 Klein- und Großparzellenversuche auf Praxisflächen angelegt. Zur Gräserkontrolle wurde Atlantis WG (Mesosulfuron & Iodosulfuron) mit verschiedenen Wasseraufwandmengen, Düsentypen und zu verschiedenen Tageszeiten ausgebracht.

Die Tropfengröße sowie die Wasseraufwandmenge hatten dabei den stärksten Einfluss auf den Bekämpfungserfolg. Die Applikationen mit sehr groben Tropfen (90 % Drift-reduzierende Einstellung) führte zu Wirkungsminderungen. Dieses wird besonders bei Applikationen in den frühen Entwicklungsstadien vom Ackerfuchsschwanz sichtbar. Grobe Tropfen rollen schneller ab (Abrolleffekt). Dagegen führten fein- bis mitteltropfige Applikationen zu sicheren Bekämpfungserfolgen, aber sie können bei hohen Windgeschwindigkeiten und Lufttemperaturen zu Abdrift und Minderwirkung führen. Es wurde kein sichtbarer Unterschied zwischen den Düsentypen Standardflachstrahl, kompakte Injektordüse und Doppelflachstrahlhülse festgestellt.

Die Herbizidwirkungen wurden dagegen eindeutig durch die Blattfeuchte der Ungräser beeinflusst. Bei feuchten Blattoberflächen besteht die Gefahr des Abrollens von Tropfen. Dieses wurde durch höhere Wasseraufwandmengen (250 l/ha) noch verstärkt. Daher muss bei Früh- und Nachtspritzungen eine Anpassung der Wasseraufwandmengen vorgenommen werden. Das heißt bei Früh- und Nachtapplikationen mit Blattfeuchte sollte die Brüheaufwandmenge auf 100-150 l/ha abgesenkt werden. Es wird empfohlen, die 90 % Drift-reduzierende Einstellung der Düsen nur im sensiblen Randbereich zu fahren und durch Druckanpassung oder Düsenwechsel auf der Restfläche eine hohe Wirkungssicherheit von Atlantis WG zu garantieren.

Aus den Versuchsergebnissen ergibt sich eine bevorzugte Düsenempfehlung für die Praxis: Kompakte Injektordüsen vom Typ AIXR, AirMix oder IDK sollten mit einem Kaliber 03 oder 04 bei ungefähr 3 bar Druck verwendet werden, sofern es keine weiteren anwendungsbezogenen Anwendungsbestimmungen gibt.

**Stichwörter:** Abdriftreduzierung, Ackerfuchsschwanzbekämpfung, Düsenteknik, Herbizidwirkung, Wasseraufwandmenge

### Summary

The successful control of *Alopecurus myosuroides* (ALOMY) depends on the application date, the product selection and the dose rate and is also influenced by the correct application technology. Small and large plot trials were conducted at locations with heavy ALOMY infestation in the years 2004 - 2010. Atlantis WG (mesosulfuron & iodosulfuron) with different water dose rates, nozzle types and at different times of day was applied to control ALOMY in winter wheat.

The droplet size as well as the water rate had the strongest impact on ALOMY control, while the application speed played a rather subordinated role. The applications with very coarse droplets (90 % drift-reducing potential) lead to efficacy reductions. This becomes particularly visible with applications in the early growth stages of ALOMY. Coarse drops roll off faster. On the other hand, applications with fine or medium droplets tend to result in a better control but they can lead to drift at high wind velocities and evaporation at high air temperatures and therefore cause lower efficacy.

There was no visible difference between the types of the tested nozzle tips like standard flat jet, compact injector nozzle and double flat spray nozzle. The herbicidal efficacy was clearly affected by the moisture of the weed leaves. With moist leaf surfaces, the risk of run-off effects exists. This was more expressed with high spray

volumes (250 l/ha) and has to be considered at early day or night applications. In situations of moist leaves, the spray volumes can be reduced to 100-150 l/ha. It is recommended to use the 90 % drift reducing nozzles only in the sensitive field bark area and to secure the efficacy of Atlantis WG against ALOMY by adjusting the pressure, the driving speed or by changing the nozzles outside of this sensitive area.

From these test results, the following nozzle recommendation is concluded: Compact injector nozzles like AIXR, Air-mix, IDK should be used with a caliber of 03 or 04 at about 3 bar. Hereby the registration related buffer zone distances have to be considered.

**Keywords:** Black grass control, drift reduction, herbicide efficacy, spray nozzle technology, spray volume

## 1. Einleitung

In den letzten Jahren ist ein zunehmender Trend hin zu weniger Wasseraufwandmenge pro ha, höheren Arbeitsgeschwindigkeiten und grobtropfigeren Düsen bei der Applikation von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis zu erkennen (KOCH und FRIESSLEBEN, 2006).

Das richtige Zusammenspiel zwischen Düsen, Wasseraufwandmenge, Fahrgeschwindigkeit und Witterungsverhältnisse zu finden ist entscheidend, da diese Faktoren sich wechselseitig beeinflussen (RAFFEL et al., 2008). Das primäre Ziel jeder Pflanzenschutzmittelanwendung ist die bestmögliche biologische Wirksamkeit bei geringsten Verlusten. Gleichzeitig ist eine Abdriftminderung abhängig von den Zulassungsaufgaben und dem Vorhandensein sensibler Randbereiche von bis zu 90 Prozent anzustreben (KOCH und FRIESSLEBEN, 2006). Grundsätzlich ist die Entwicklung hin zu Düsen, die ein Tropfenspektrum mit geringem Feintropfenvolumen ermöglichen, positiv im Sinne von Praxis und Umwelt zu beurteilen. Neue Injektordüsen haben im Verhältnis zu den herkömmlichen Flachstrahldüsen einen höheren Anteil grober Tropfen. Sie können nicht so schnell wie feine Tröpfchen verweht werden. Abdriftminderungen um 50 – 90 % sind damit möglich. Abdriftmindernde Technik bringt keine Nachteile, sondern erhöht tendenziell die Belagsmassen (KNEWITZ, 2002). Extrem grobtropfige Applikationen, die sich allein an Abdriftminderung orientieren, lassen unter ungünstigen Bedingungen allerdings Grenzen hinsichtlich der biologischen Wirksamkeit erkennen (GEHRING, 2006). Das Zusammenwirken abdriftmindernder Maßnahmen und der Erhalt der Wirkungssicherheit stehen bei der Diskussion im Mittelpunkt.

Die Wasseraufwandmenge ist zudem mitentscheidend für die Belagsbildung auf den Pflanzen. Diese wiederum nimmt Einfluss auf die Wirksamkeit des Mittels (GANZELMEIER, 2008). Auch in diesem Zusammenhang hat die Auswahl der richtigen Düse eine große Bedeutung. Darüber hinaus gilt es aber, je nach Indikation, die Tröpfchen zu den gewünschten Stellen im Bestand zu transportieren. Aus dieser Thematik heraus wurde in mehreren Versuchen von 2004 – 2010 der Frage nachgegangen: Wie wird die biologische Wirkung von Atlantis WG durch applikationstechnische Parameter beeinflusst?

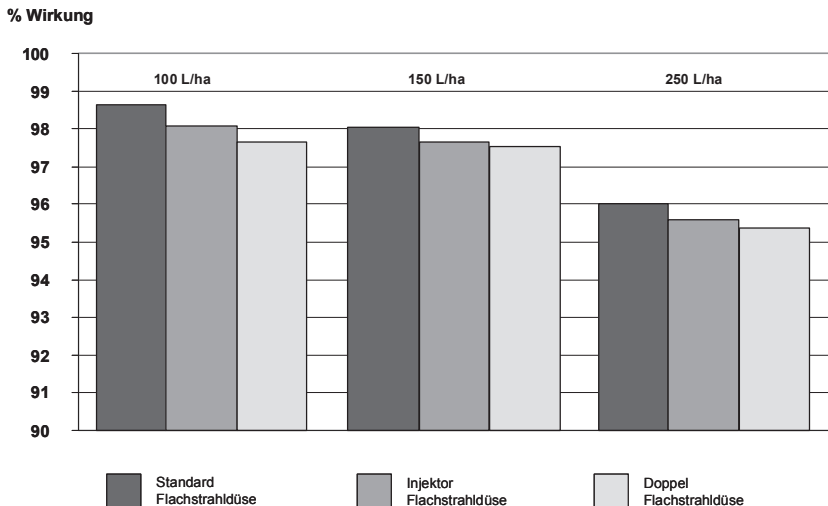
## 2. Material und Methoden

In den Jahren 2004 bis 2010 wurden in sechs Kleinparzellenversuchen und einem Großparzellenversuch 23 verschiedene Standardflachstrahl-, kompakte Injektor- und Doppelflachstrahldüsen geprüft. Dabei wurden unterschiedliche Tropfengrößen, Wasseraufwandmengen, Fahrgeschwindigkeiten und auch Applikationszeitpunkte (Tageszeit) auf ihren Einfluss auf den Wirkungserfolg von Atlantis WG gegen Ackerfuchsschwanz (ALOMY) im Winterweizen geprüft. Die Kleinparzellenversuche wurden als Blockanlage mit dreifacher Wiederholung randomisiert angelegt, der Großflächenversuch wurde als Streifenanlage in zweifacher Wiederholung angelegt. Die Aufwandmenge des Prüfmittels Atlantis WG wurde in allen Versuchen standortspezifisch so reduziert, dass eine ausreichende Differenzierung der Prüfglieder zu erwarten war. Als Netzmittel diente Biopower. Die Standorte wiesen einen aussagekräftigen Ackerfuchsschwanzbesatz von 360 und 2000 Ähren/m<sup>2</sup> auf. Die Beurteilung der Wirkung erfolgte bei allen Versuchen über eine Zählung der ährentragenden Ackerfuchsschwanzhalme/m<sup>2</sup>.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Einfluss der Wasseraufwandmengen auf den Bekämpfungserfolg

Die Versuchsserie von 2010 zeigte tendenziell, dass die Varianten mit 250 l Wasser/ha etwas geringere Wirkungsgrade aufweisen als die mit 100 oder 150 l/ha. Der Unterschied betrug zwar nur drei Wirkungsgrade, dieser ist aber bei den in den Versuchen auftretenden hohen ALOMY-Besatzstärken eindeutig. Es ist zu vermuten, dass die geringere Wirkung hauptsächlich an den feuchten Beständen bei Applikationen am Morgen in taunassen Beständen lag. So waren auch bei einigen Applikationen am Abend die Blätter feucht. Die Wassermengen von 250 l/ha führten zu Abrolleffekten. Die Wirkungsunterschiede zwischen 100 und 150 l/ha sind eher klein. Die in Abbildung 1 gezeigten Ergebnisse machen ebenfalls deutlich, dass feintropfige Applikationen mit der Standard XR-Düse höhere Wirkungsgrade erreichen als die grobtropfigeren Applikationen. Dieses war bei allen geprüften Wasseraufwandmengen festzustellen (Abb. 1).

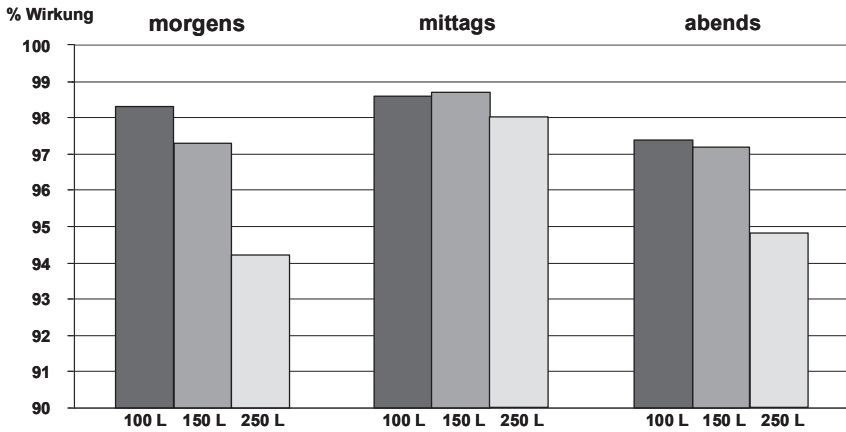


**Abb. 1** Einfluss der Wasseraufwandmenge auf die ALOMY-Wirkung von Atlantis WG.

**Fig. 1** Impact of water rate on ALOMY control with Atlantis WG.

#### 3.2 Einfluss der Applikationszeitpunkte (Tageszeiten) auf den Bekämpfungserfolg

Die größten Bekämpfungserfolge konnten mit Spritzungen um die Mittagszeit erreicht werden. Zu diesem Zeitpunkt waren in allen Versuchen die Blätter trocken und die applizierten Wassermengen konnten sehr gut anhaften und antrocknen. Es herrschte keine ausgesprochenen Trockenperiode, die Luftfeuchte bei den Spritzungen am Mittag lag zwischen 38 und 76 % bei Temperaturen von 14,7-25 °C. Die Wirkungsgrade der Wasseraufwandmengen unterschieden sich bei den Applikationen am Mittag nur unwesentlich (Abb. 2). Dagegen fielen die Wirkungsgrade der hohen Wasseraufwandmenge von 250 l/ha bei den Spritzungen am Morgen und Abend deutlich ab. Der Unterschied zwischen 100 l/ha und 150 l/ha war bei diesen Spritzzeitpunkten sehr gering.

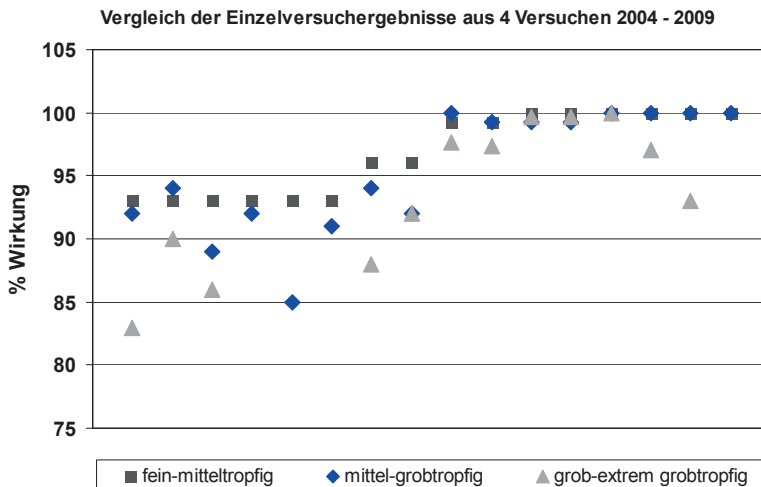


**Abb. 2** Einfluss der Applikationszeitpunkte (Tageszeiten) und Wasseraufwandmenge auf den ALOMY-Bekämpfungserfolg von Atlantis WG.

**Fig. 2** Impact of application timing and water volume on ALOMY control with Atlantis WG.

### 3.3 Einfluss der Tropfengröße auf den Bekämpfungserfolg

In der Abbildung 3 sind die absoluten Wirkungsgrade (% Abbott) von fein- bis mitteltropfiger, mittel- bis grobtropfiger und grob- bis extrem grobtropfiger Applikation von vier Versuchen aus 2004 und 2009 zusammengefasst. Bei hohen Wirkungsgraden der Standarddüsen gibt es nur geringfügige Unterschiede zwischen den Düsentypen. Somit zeigen sich bei optimalen Anwendungsbedingungen keine gravierenden Wirkungsunterschiede zwischen fein- und grobtropfiger Anwendung. Erst unter kritischen Bedingungen z.B. einer zu geringen Aufwandmenge oder nicht optimaler Umweltbedingungen (Blattnässe), ergibt sich ein Vorteil einer feintropfigen Mittelausbringung. Grobtropfigere Applikationen liegen in diesen Fällen im Wirkungsniveau unter den Standarddüsen. Je größer der Tropfen, desto geringer kann der Bekämpfungserfolg unter suboptimalen Bedingungen sein (Abb. 3).



**Abb. 3** Einfluss der Tropfengröße auf die Wirkung (% Abbott) von Atlantis WG gegen ALOMY.

**Fig. 3** Impact of the droplet size for the efficacy (% Abbott) of Atlantis WG against ALOMY.

#### 4. Diskussion

Die erfolgreiche Ackerfuchsschwanzbekämpfung wird neben der Terminwahl, der Produktwahl und der Aufwandmenge auch von der richtigen Applikationstechnik beeinflusst.

Es war kein eindeutiger Unterschied zwischen den Düsentypen Standardflachstrahldüse, Injektordüse oder Doppelflachstrahldüse (DF) erkennbar. Eine Erhöhung die Wirkungssicherheit durch die DF-Düsen konnte nicht belegt werden, was in der Praxis häufig durch die Verwendung dieser Düsen beabsichtigt wird.

Dagegen führen sehr grobe Tropfen (90 % Drift-reduzierende Einstellung) zu messbaren Wirkungsminderungen (RAFFEL et al., 2008). Dieses ist zum Einen auf die Blattnässe bei morgendlichen oder abendlichen Spritzungen zurückzuführen (Abrolleffekt), zum anderen aber auch auf geringere Wirkungen grober Applikation in frühen Entwicklungsstadien des Ackerfuchsschwanzes. Zu vermuten ist, dass hier eine ungleichmäßigere Benetzung durch die größeren, aber anzahlmäßig geringeren Tropfen im Vergleich zur feintropfigen Anwendung auftrat (KOCH und FRIESSLEBEN, 2006).

Die Ackerfuchsschwanzwirkungen werden deutlich durch die Blattfeuchte beeinflusst. Bei hohen Blattfeuchten kommt es zu einem Abrollen von Tropfen. Dieser Effekt wird durch höhere Wasseraufwandmengen (250 l/ha) noch verstärkt. Daher kann bei Früh- und Nachapplikationen mit Blattfeuchte die Wasseraufwandmenge abgesenkt werden. Die Brüheaufwandmenge sollte maximal 200 l/ha betragen. Das Tropfenspektrum darf dabei nicht zu grob sein, um die gewünschten Bekämpfungserfolg nicht zu gefährden. Ist eine 90 %ige Driftreduzierung mit entsprechend groben Tropfen gefordert, so darf die Wasseraufwandmenge nicht zu stark reduziert werden.

Applikationen um die Mittagszeit erzielten die höchsten Wirkungsgrade.

Diese Ergebnisse zeigen, dass hohe Wasseraufwandmengen und ein grobes Tropfenspektrum unter ungünstigen Bedingungen zu Wirkungsminderungen führen können. Für den praktischen Einsatz sind Injektordüsen, die je nach Arbeitsdruck eine Abdriftminderung von 50-75 % bzw. 50-90 % ermöglichen, vorteilhaft. Die Düsenwahl ist von der vorhandenen Gerätetechnik und von dem je nach Einsatzbereich angestrebten Tropfenspektrum abhängig, wobei Injektordüsen in einem typspezifisch optimalen Druckbereich eingesetzt werden sollten (GEHRING et al., 2006).

#### Literatur

- FRIESSLEBEN, R., F.-O. RIPKE, K. SCHMIDT UND R. STADLER, 2000: ZUM EINFLUSS VON DÜSENTECHNIK UND WASSERAUFWANDMENGEN AUF DIE BIOLOGISCHE WIRKUNG VON PFLANZENSCHUTZMITTELN IN VERSCHIEDENEN INDIKATIONEN IM FELDBAU. 52. DEUTSCHE PFLANZENSCHUTZTAGUNG, MITTEILUNGEN AUS DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT BERLIN-DAHLEM **376**, 242.
- GANZELMEIER H. UND H. NORDMEYER, 2008: INNOVATIONEN IN DER APPLIKATIONSTECHNIK. IN: TIEDEMANN A. v., R. HEITFUSS UND F. FELDMANN: PFLANZENPRODUKTION IM WANDEL – WANDEL IM PFLANZENSCHUTZ., DPG BRAUNSCHWEIG, 138-149.
- GEHRING, K., S. THYSSSEN UND T. FESTNER, 2006: EINFLUSS DER APPLIKATION MIT ABDRIFTREDUZIERTEN DÜSEN AUF DIE WIRKSAMKEIT VON HERBIZIDBEHANDLUNGEN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XX**, 233-240.
- KNEWITZ, H., H. KOCH, G. FLEISCHER UND F. LEHN, 2002: UNTERSUCHUNGEN ZUR PFLANZENSCHUTZMITTELANLAGERUNG IN OBSTANLAGEN BEI GROB- UND FEINTROPFIGER APPLIKATION. GESUNDE PFLANZEN **54**, 141-145.
- KOCH, H. UND R. FRIESSLEBEN, 2006: AKTUELLES ZUR SPRITZTECHNIK: FEINTROPFIG – GROBTROPFIG – ZU GROBTROPFIG. DIE ZUCKERRUEBE **55**, 94-97.
- RAFFEL, H., U. HENSER UND H. KRAME, 2008: UNGRÄSER IN GETREIDE SICHER UND KULTURVERTRÄGLICH BEKÄMPFEN. 56. DEUTSCHE PFLANZENSCHUTZTAGUNG, MITTEILUNGEN AUS DEM JULIUS-KÜHN-INSTITUT **417**, 95-96.



## Effect of water volume and water quality on the efficacy of glyphosate on some important weed species in Turkey

*Einfluss von Wassermenge und -qualität auf die Wirksamkeit von Glyphosat bei wichtigen Unkrautarten in der Türkei*

M. Nedim Doğan<sup>1\*</sup>, Derya Ögüt<sup>1</sup>, Norbert Mülleler<sup>2</sup>, Özhan Boz<sup>1</sup>, Ivo Brants<sup>3</sup> & Wolfgang Voegler<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, Aydin, Turkey

<sup>2</sup> Monsanto International Sarl, Switzerland

<sup>3</sup> Monsanto Europa S.A., Belgium

<sup>4</sup> Monsanto Agrar GmbH, Germany

\*Corresponding author, mndogan@adu.edu.tr

DOI: 10.5073/jka.2012.434.028

### Summary

The effect of spray water volume and water quality on the performance of three Roundup formulations were investigated in pot experiments to observe whether these factors influence the efficacy of herbicide on three important weed species occurring in Turkey. *Sorghum halepense*, *Cyperus rotundus* and *Portulaca oleracea* were used in the experiments. All Roundup formulations were applied at three different doses with two water volume rates (200 and 600 l/ha) and three different water qualities (clean water, clean water + CaCl<sub>2</sub> to simulate hard water and water of Büyük Menderes River). Experiments were carried out at the research station of Adnan Menderes University in the Aydin province of Turkey and replicated twice. Results of the studies showed that the performance of Roundup on weeds was not influenced by herbicide formulation, but significantly affected by water volume as well as water quality. However, the effect of these factors was variable depending on the weed species and the applied herbicide dose. Significant differences were observed mostly at reduced doses more apparently in the case of more sensitive weed species such as *P. oleracea* and *S. halepense*. *C. rotundus* was more tolerant against herbicide so that an influence of investigated factors on the efficacy was observed even with the recommended dose. In general, low volume treatments (200 l/ha) provided significantly higher weed control. Similarly, clean water improved the effectiveness of the herbicide on weeds. These results suggest that using clean spray water and low volume treatments improve the efficacy of glyphosate at the recommended and reduced rates depending on the sensitivities of weed species.

**Keywords:** *Cyperus rotundus*, formulation, *Portulaca oleracea*, *Sorghum halepense*

### Zusammenfassung

Mit Gefäßversuchen wurde der Einfluss von Wassermenge bzw. -qualität auf die Wirksamkeit von drei verschiedenen Roundup-Formulierungen bei wichtigen Unkrautarten in der Türkei untersucht. *Sorghum halepense*, *Cyperus rotundus* und *Portulaca oleracea* wurden bei den Experimenten verwendet. Alle Formulierungen wurden mit drei Aufwandmengen aufgebracht, jede mit 2 verschiedenen Wassermengen (200 und 600 l/ha) und bei drei verschiedenen Wasserqualitäten (reines Wasser, reines Wasser + CaCl<sub>2</sub>, um die Wasserhärte zu steigern, und Wasser aus dem Büyük Menderes Fluss). Die Versuche wurden am Forschungszentrum der Adnan Menderes Universität in Aydin, Türkei, durchgeführt und zweimal wiederholt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Wirksamkeit von Roundup auf die Unkräuter nicht von der Formulierung beeinflusst wurde, aber der Einfluss von Wassermenge bzw. -qualität war signifikant. Jedoch waren die Einflüsse dieser Faktoren von der Unkrautart bzw. von den Aufwandmengen abhängig. Erhebliche Unterschiede wurden bei den reduzierten Aufwandmengen und bei den sensitiveren Arten beobachtet, wie z. B. *P. oleracea* und *S. halepense*. *C. rotundus* war gegenüber dem Herbizid unempfindlicher, so dass die untersuchten Faktoren sogar bei den empfohlenen Aufwandmengen keine Unterschiede der Wirkung verursachten. Im Allgemeinen lieferten Behandlungen mit niedriger Wassermenge signifikant höhere Bekämpfungsgrade. Reines Wasser erhöhte ebenfalls die Wirkung des Herbizids auf die Unkräuter. Aus diesen Ergebnissen geht hervor, dass die Wirksamkeit von Glyphosat bei Anwendung mit reinem Spritzwasser und verringertem Wasseraufwand bei den empfohlenen bzw. reduzierten Aufwandmengen in Abhängigkeit von der Empfindlichkeit der Unkrautarten verbessert wird.

**Stichwörter:** *Cyperus rotundus*, Formulierung, *Portulaca oleracea*, *Sorghum halepense*

## 1. Introduction

Efficacy of a herbicide against a weed is influenced by many factors, such as weed growth stage, type of herbicide formulation, application technique as well as the climatic conditions during the application (KUDSK and STREIBIG, 2003). Therefore, relationships between herbicide efficacy and such factors should be well defined to obtain consistently satisfactory weed control with any herbicide. On a worldwide basis, glyphosate is the most frequently used herbicide in crops, as well as on non-agricultural areas such as railways and roadsides. In Turkey, the main sector for weed control with glyphosate is perennial crops. Although glyphosate has been applied for a long time in Turkey, there is currently no real reported dissatisfaction in terms of glyphosate efficacy. However, some weeds, such as purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.), Johnsongrass (*Sorghum halepense* L. (PERS.) and common purslane (*Portulaca oleracea* L.) are reported to be difficult to control with glyphosate according to some growers as well as herbicide dealers. This experience was partly confirmed by some scientific studies carried out by DOGAN et al. (2008 and 2009). *Cyperus rotundus* and *Portulaca oleracea* were in some cases less sensitive to glyphosate as compared to some other important summer weeds occurring in southern and western Turkey. Therefore, special attention should be paid to optimize the glyphosate efficacy for these weeds species. Previous studies with glyphosate showed that the efficacy of this herbicide is affected by the formulation and adjuvants (NALEWAJA and MATYSIAK, 1995; ZOLLINGER, 2002), by water volume, and by quality of spray water in which a herbicide is dissolved (JORDAN, 1981; BUHLER and BURNSIDE, 1983; NALEWAJA and MATYSIAK, 1991). Based on this information, some experiments were planned aiming to evaluate the effects of spray water volume and spray water quality on the performance of glyphosate by using different glyphosate (Roundup) formulations.

## 2. Materials and methods

Pot experiments were carried out in the greenhouse of the Weed Science laboratory at Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, Turkey. Perennial weeds were grown from rhizomes and *P. oleracea* from seeds. A mixture of turf, sand, perlite and soil (1:1:1:1) was used as growing medium that is suitable for weed growth under greenhouse conditions.

Rhizomes of *S. halepense* were planted in 3.8-l pots and rhizomes of *C. rotundus* and seeds of *P. oleracea* were in 3.0-l pots. Experiments with *S. halepense* were carried out with four pots (replications) and with *C. rotundus* and *P. oleracea* with five replications. Each pot received a single individual plant. Three different glyphosate formulations were used in all experiments (Tab. 1), each at three doses (recommended dose 2160 g a.i./ha, 1620 g a.i./ha corresponding 75% of the recommended dose and 1080 g a.i./ha corresponding to half dose).

**Tab. 1** Glyphosate formulations that were used in the experiments.

**Tab. 1** Glyphosat-Formulierungen für die Versuche.

Formulation	Trade name	Glyphosate content (g a.i./l)
MON 79376	Roundup Star	360
MON 79351	Not yet commercial in Turkey	480
MON 78273	Cayenne	540

All herbicide treatments were conducted by using a spray chamber via 11002 nozzle at 4 bar pressure. First the recommended doses of each formulation were adjusted. Other doses were then obtained as water dilutions.

### 2.1 Effect of water volume on the efficacy of glyphosate

With this aim, all herbicides were applied at three different doses by using 200 and 600 l/ha water volumes, respectively. Since the spray chamber was adjusted to deliver 200 l/ha water volume, each dose was split to 1/3 and the sprayer was run three times to simulate 600 l/ha water volume. Experiments were carried out two times. Experiments with *S. halepense* were carried out on 20.08. and



11.09.2009. Average plant heights at the beginning of the experiments were 25 and 22 cm, respectively. Experiments with *C. rotundus* were conducted on 11.08. and 25.08.2010 when plants had 5-6 true leaves. Experiments with *P. oleracea* were carried out on 18.08. and 04.09.2009, when the plants had 1-3 branches.

## 2.2 Effect of water quality on the efficacy of glyphosate

The quality of water on the herbicide efficacy was tested by using the optimal water volume based on the previous experiment module (200 l/ha). Herbicides were dissolved in three different water samples having different characteristics (Tab. 2).

**Tab. 2** Features of spray water.

**Tab. 2** *Eigenschaften des Wassers für die Spritzflüssigkeit.*

	Clean water	Clean + CaCl <sub>2</sub>	River water
Total Hardness (German)	1.12 (very soft)	21.84 ( hard)	22.40 (hard)
pH	6.31	6.64	7.56
EC (µS/cm)	46	846	1008
SAR (me/l)	0.63	0.12	1.85
K (me/l)	0.10	0.09	0.34
Ca (me/l)	0.10	7.35	2.37
Na (me/l)	0.19	0.23	3.58
Mg (me/l)	0.08	0.17	5.11
HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> (me/l)	0.22	0.30	4.47
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (me/l)	0.21	0.26	3.51
B (ppm)	0.03	0.003	0.39

The first spray water source was locally available drinking water (clean water). The second water used was originated from the first water sample by adding CaCl<sub>2</sub> to simulate the hard water (Clean + CaCl<sub>2</sub>). The third spray water was river water sampled from Büyük Menderes (Great Meander) River which is used for irrigation and also as spray water by many farmers of the region.

Experiments with *S. halepense* were carried out on 24.05. and 31.05.2010, when plants were in an average height of 33.6 and 50.0cm, respectively. Since results from water volume experiments showed that *S. halepense* could be controlled effectively even at half dose rates larger plants were used in these experiments to observe the effects of water quality and weed growth stage. Experiments with *C. rotundus* were carried out on 09. and 16.06.2010 at 4-5 and 5-6 leaf stages, respectively. Experiments with *P. oleracea* were conducted on 28.06. and 02.07.2010 when plants had 2-4 branches in both experiments.

## 2.3 Evaluations of the experiments

All experiments were carried out two times. In the case of *S. halepense* and *P. oleracea*, above ground parts of plants were harvested two weeks after treatment to determine fresh and dry weight. This was done three weeks after treatment in the case of *C. rotundus*, because the highest herbicide effect was observed visually at this time. Because of the high water content of *P. oleracea* it was not possible to dry this weed completely, therefore only fresh weight was determined. All data were subject to analysis of variance by using a general linear model procedure and the significance of experiment, formulation, dose, the subject of experiment (water volume or water quality) and the interactions among these factors were determined. To make the results from different experiments comparable, fresh and/or dry weight data was converted to percentage and analyses were made by using relative percent weights in relation to untreated plants. Since *P. oleracea* had no dry weight, only fresh weight results are given here, however similar results were obtained also with dry weight in the case of *S. halepense* and *C. rotundus*.

### 3. Results and Discussion

Results with *S. halepense* are shown in Table 3. Statistical analyses showed that water volume affected glyphosate performance significantly only in the first experiment at doses lower than recommended. The efficacies of these doses were significantly improved by using low water volumes (200 l/ha) which was obvious, especially with the half dose of the recommended rate. Formulation and all related interactions were not significantly different from each other in both experiments. Therefore data from all formulations were combined and illustrated in Table 3.

Statistical evaluations based on relative weed fresh weights showed that water volume and dose-volume interactions were significant in the case of *P. oleracea* and *C. rotundus*. However, other factors, such as experiment, formulation as well as all related interactions were not significant, so that data from both experiments and all formulations were pooled (Tab. 3).

In the case of *P. oleracea*, water volume was found to be significant only for 50 % herbicide dose, so that this dose applied in 200 l/ha volume provided about 99 % fresh biomass reduction as compared to untreated control plants. However, the same dose applied in 600 l/ha volume provided only about 82 % biomass reduction.

*C. rotundus* was less sensitive to glyphosate as compared to *S. halepense* and *P. oleracea*. This weed could not be controlled effectively with below recommended doses. An acceptable control (over 90 %) of this weed was achieved only at recommended application rate, when applied in 200 l/ha water volume. Same dose in 600 l/ha water volume provided insufficient efficacy (78 %).

Results from these studies suggested that the effect of water volume was significant but this effect was observed at different doses depending on the sensitivity of weed species. In the case of more sensitive weed species such as *S. halepense* and *P. oleracea*, significant effect of water volume was observed only at below recommended doses, while a significant improvement of the herbicide at recommended dose was observed only for *C. rotundus*, which is a less sensitive species against glyphosate. In all experiments lower water volume (200 l/ha) was the best treatment which can be attributed to that the active ingredient as well as the adjuvants were not diluted by water. This was also confirmed by some previous studies (JORDAN, 1981; BUHLER and BURNSIDE, 1983; CRANMER and LINSKOTT, 1990, 1991). On the other hand, leaf run-off may be another important factor responsible for the poor glyphosate efficacy when applied in higher water volume. However, this case was not experimentally investigated in our studies. CAWOOD et al. (1995) found that the deposition of cladinofop-propargyl on *Alopecurus myosuroides* was higher with lower water volume. In another study with glyphosate, DOGAN et al. (1999) found that spray deposition on *Sinapis alba* plants was significantly higher when herbicide was applied in 200 l/ha water volume as compared to 400 l/ha.

From these results it can be concluded that glyphosate should be applied in lower water volumes and this can lead to use the herbicide in lower doses in the case of more sensitive weed species, but also to an improvement of herbicide activity on difficult to control weed species.

**Tab. 3** Relative fresh weights (%) of tested weed species as affected by water volume.

**Tab. 3** Relative Frischmasse nach Behandlung mit unterschiedlichem Spritzflüssigkeitsaufwand.

Weed species	<i>S. halepense</i>				<i>P. oleracea</i> *		<i>C. rotundus</i> *	
	**				NS		NS	
	I		II					
Water volume (l/ha)	200	600	200	600	200	600	200	600
1080 g a.i./ha (50 %)	8.7 b	37.1 a	18.2 a	13.5 ab	1.6 b	18.0 a	34.2 a	41.4 a
1620 g a.i./ha (75 %)	4.5 b	15.7 b	5.8 b	11.5 ab	0.3 b	1.9 b	15.6 c	26.0 b
2160 g a.i./ha (recommended)	2.7 b	5.9 b	6.8 b	6.3 b	0.0 b	0.4 b	8.2 c	22.4 bc
SEM	4.02		3.36		2.91		3.96	

\*results from both experiments were combined, \*\*significant  $\alpha = 0.01$

### 3.1 Effect of water quality on the efficacy of glyphosate

The results of the first experiment with *S. halepense* showed that glyphosate provided over 95 % efficacy in all treatments regardless of the formulation and water quality. Results are not shown. Therefore, larger *S. halepense* plants were used in the second experiment to reduce glyphosate efficacy in order to observe the effect of water quality and weed growth stage. Results from the second experiment showed that water quality affected the glyphosate performance statistically significant ( $\alpha = 0.01$ ) only at half dose (Tab. 4). The efficacy was significantly lower (just about 36 %) when applied with river water, which is used by many farmers in the region where the studies were undertaken. However, the same dose provided about 95 % efficacy when applications were done with clean water regardless of  $\text{CaCl}_2$  supplementation. In the case of *P. oleracea*, results from both experiments showed that water quality had no statistical significant effect on the performance of all glyphosate formulations at all doses. Therefore results from these experiments are not given here. As shown in Table 4, water quality affected the performance of glyphosate on *C. rotundus* at all doses. Lowest herbicide efficacy was obtained with river water treatments that were significantly different at the 50- and 75 %-doses. In contrast to experiments with *S. halepense*, it was also possible to see the differences between clean water and clean water +  $\text{CaCl}_2$  in these experiments. At the 50 %-dose clear water use provided significantly lower weed biomass as compared to the same quality supplemented with  $\text{CaCl}_2$ . Although the same tendency was observed with higher doses, there were no statistically significant differences among them.

**Tab. 4** Relative fresh weight (%) of *S. halepense* and *C. rotundus* as affected by spray water quality.

**Tab. 4** Relative Frischmasse von *S. halepense* und *C. rotundus* nach Behandlung mit unterschiedlicher Wasserqualität.

Water quality	<i>S. halepense</i> *	<i>C. rotundus</i> **		
	50 %	50 %	75 %	100 %
<b>Untreated control</b>	<b>100</b>			
Clean water	4.4 b	21.7 c	18.0 b	6.0 a
Clean water + $\text{CaCl}_2$	5.4 b	43.1 b	24.9 ab	11.9 a
River water	63.8 a	73.0 a	30.7 a	13.6 a
SEM	2.33	4.23		

\*results from the second experiment, \*\* results from both experiments were combined

Results from water quality experiments showed that weeds were controlled more effectively when glyphosate was applied in clean water. Influence of water quality was dependent on the dose and weed species as in the case of the water volume experiments. Since *S. halepense* and *P. oleracea* were very sensitive to glyphosate, the effect of water quality was not observed clearly with these weed species. The effect of water quality on glyphosate performance was best observed with *C. rotundus* which is less sensitive to glyphosate when compared to the other two tested weed species. Glyphosate efficacy was ranked as clean water > clean water +  $\text{CaCl}_2$  > river water.

From these results it can be concluded that the water hardness is an important factor affecting glyphosate performance on difficult to control weeds in Turkey. NALEWAJA and MATYSIAK (1991) and THELEN et al. (1995) stated that hard water reduce glyphosate efficacy by reducing the absorption. According to HALL et al. (2000)  $\text{Ca}^{2+}$  which was added to clean water or when present in high amounts in river water antagonize glyphosate efficacy by forming insoluble complexes which lead to a reduction of cuticular penetration. Similarly glyphosate performance is negatively affected by  $\text{Mg}^{2+}$  which was especially high in river water (THELEN et al., 1995).

Although these factors are discussed here as the reason for poor glyphosate efficacy, many other factors and interactions among them could be contributing factors, such as EC,  $\text{HCO}_3^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  concentrations and the concentrations of some other cations. More detailed studies are required to quantitatively determine how far the contribution of any individual factor on the glyphosate efficacy is.

The most significant result of the study is that the efficacy of all glyphosate formulations can be improved by considering water volume as well as the quality. However weed sensitivity, weed development stage and/or herbicide dose are important factors to take into account. In the case of very sensitive weed species there is no need to improve glyphosate activity at the recommended dose. An improvement is needed, even at the label recommended dose, when difficult to control weeds dominate on the field. Using clean water in low volume could be a practical solution for growers to improve the *C. rotundus* control of glyphosate. Drinking water was used in these experiments just to show how water quality affect herbicide performance, however, in most cases using drinking water as spray carrier cannot be possible or economically feasible. However, improvement of some characteristics of the currently used spray water, such as filtration, pH adjustment, reduction of hardness, or any other methods to prevent antagonism might be helpful to increase the herbicidal efficacy. Further studies are needed on this subject.

### Acknowledgements

Significant thanks to MONSANTO International Sarl for scientific and financial support for these studies.

### References

- BUHLER, D.D. AND O.C. BURNSIDE, 1983: EFFECT OF SPRAY COMPONENTS ON GLYPHOSATE TOXICITY TO ANNUAL GRASSES. *WEED SCIENCE* **31**, 124–130.
- CAWOOD, P.N., T.H. ROBINSON AND S. WITTAHER, 1995: AN INVESTIGATION OF ALTERNATIVE APPLICATION TECHNIQUES FOR CONTROL OF BLACKGRASS. BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE-WEEDS, 521-527.
- CRANMER, J.R. AND D.L. LINSOTT, 1990: DROPLET MAKEUP AND THE EFFECT ON PHYTOTOXICITY OF GLYPHOSATE IN VELVETLEAF (*ABUTILON THEOPHRASTI*). *WEED SCIENCE* **38**, 406–410.
- CRANMER, J.R. AND D.L. LINSOTT, 1991: EFFECTS OF DROPLET COMPOSITION ON GLYPHOSATE ABSORPTION AND TRANSLOCATION IN VELVETLEAF (*ABUTILON THEOPHRASTI*). *WEED SCIENCE* **39**, 251–254.
- DOGAN, M.N., C. TURGUT AND K. HURLE, 1999: EFFECT OF SPRAY VOLUME ON THE DEPOSITION AND PERFORMANCE OF FOLIAR APPLIED HERBICIDES ON TARGET PLANTS. *TURKISH JOURNAL OF WEED SCIENCE* **2**, 1-5.
- DOGAN, M.N., Ö. BOZ AND A. ÜNAY, 2008: WIRKUNG VON GLYPHOSAT AUF UNKRÄUTER IN BAUMWOLLE – BEDEUTUNG DER GLYPHOSATRESISTENZ UNTER DEN ANBAUBEDINGUNGEN IN DER TÜRKEI“. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION SPECIAL ISSUE XXI*, 45-50.
- DOGAN, M.N., A. ÜNAY, Ö. BOZ AND D. OGUT, 2009: EFFECT OF PRE-SOWING AND PRE-EMERGENCE GLYPHOSATE APPLICATIONS ON WEEDS IN STALE SEEDBED COTTON. *CROP PROTECTION* **28**, 503-507.
- HALL, G.J., C.A. HART AND C.A. JONES, 2000: PLANTS AS SOURCES OF CATIONS ANTAGONISTIC TO GLYPHOSATE ACTIVITY. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **56**, 351–358.
- JORDAN, T.N, 1981: EFFECTS OF DILUENT VOLUMES AND SURFACTANTS ON THE PHYTOTOXICITY OF GLYPHOSATE TO BERMUDAGRASS (*CYNODON DACTYLON*). *WEED SCIENCE* **29**, 79–83.
- KUDSK, P. AND J.C. STREIBIG, 2003: HERBICIDES – A-TWO-EDGED SWORD. *WEED RESEARCH* **43**, 90-102.
- NALEWAJA, J.D. AND R. MATYSIAK, 1991: SALT ANTAGONISM OF GLYPHOSATE. *WEED SCIENCE* **39**, 622–628.
- NALEWAJA, J.D. AND R. MATYSIAK, 1995: ETHOXYLATED LINEAR ALCOHOL SURFACTANTS AFFECT GLYPHOSATE AND FLUAZIFOP ABSORPTION AND EFFICACY. IN: R.E. GASKIN, (ED.), FOURTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS. ROTURA, NEW ZEALAND: NEW ZEALAND FOREST RESEARCH INSTITUTE BULLETIN No. 193. pp. 291–296.
- THELEN, K.D., E.P. JACKSON AND D. PENNER, 1995: THE BASIS FOR THE HARDWATER ANTAGONISM OF GLYPHOSATE ACTIVITY. *WEED SCIENCE* **43**, 541–548.
- ZOLLINGER, R., 2002: NORTH DAKOTA WEED CONTROL GUIDE. FARGO, ND: NORTH DAKOTA STATE UNIVERSITY EXTENSION SERVICE CIRC. W-253. 132 P.

## Verfahren der Bildanalyse zur Unkrauterkenung in Getreide

*Procedures of image analysis for weed recognition in cereals*

Alexander Kluge & Henning Nordmeyer\*

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,

Messeweg 11-12, D-38104 Braunschweig

\*Korrespondierender Autor, henning.nordmeyer@jki.bund.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.029

### Zusammenfassung

Eine automatische Unkrauterkenung ist eine wichtige Voraussetzung für eine teilflächenspezifische Herbizidanwendung nach dem Schadensschwellenwertprinzip. Die Segmentierung, als Vorverarbeitungsschritt, erfolgt auf zwei- oder dreidimensionalen Bildern. Im nachgelagerten Schritt werden mit den Methoden des Graphen Matchings, Winkelmessungen innerhalb eines Blattes und des Template Matchings Pflanzen unterschieden. Untersucht wurden die Unkrautarten *Galium aparine* und *Veronica hederifolia*. Beim Verfahren des Graphen Matching wurden charakteristische Graphen gefunden, während beim Template Matching idealisierte Templates zur Verringerung des Suchraums erzeugt wurden. Mit dem Verfahren des Template Matchings wurden Erkennungsraten zwischen 72 und 83 % erzielt während bei der Winkelmessung ca. 91 % der Pflanzen erkannt wurden. Durch ein an die Erkennungsverfahren angepasstes wissensbasiertes System ist der Einsatz der Methoden in einem automatischen Unkrauterkenungssystem möglich.

**Stichwörter:** Bilderkennungsverfahren, *Galium aparine*, Matching-Verfahren, Precision farming, *Veronica hederifolia*, Winkelmessung, wissensbasierte Systeme

### Summary

An automatic weed recognition system is a prerequisite for site specific weed control when using weed threshold concepts. Segmentation, a preprocessing step, is applied to two- or three-dimensional images. In the following step, methods of graph matching, angular measurements within a leaf, and template matching were used to distinguish plants. The weed species *Galium aparine* and *Veronica hederifolia* were exemplary examined. In graph matching, typical graphs were identified and in template matching, idealized templates were constructed. The results of this exercise were used to reduce the dimension of the search-space. In the process of template matching, detection rates ranged from 72-83 %; a detection rate of about 91 % was found using angle measurements. Recognition procedures in a knowledge-based system enable using these methods in an automatic recognition system for weed recognition.

**Keywords:** *Galium aparine*, image recognition, knowledge-based methods, matching procedures, measuring angles, precision farming, *Veronica hederifolia*

### 1. Einleitung

Langjährige Untersuchungen von Unkrautpopulationen zeigten ein heterogenes Auftreten von Unkräutern auf Ackerflächen (HÄUSLER und NORDMEYER, 1999; OEBEL und GERHARDS, 2005; NORDMEYER, 2006). Durch eine darauf abgestimmte teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung auf der Grundlage des Schadensschwellenkonzepts (GEROWITT und HEITFUSS, 1990) kann der Herbizideinsatz vermindert werden. Die Höhe der Herbizidreduktion ist schlagbezogen unterschiedlich und zeigt in Einzelfällen Extremwerte von 0 bis 100 % (NORDMEYER und ZUK, 2002).

Für eine Teilflächenunkrautbekämpfung sind Kenntnisse über die Art, Dichte und räumliche Verteilung der Unkräuter erforderlich. Mit manuellen Verfahren durch Feldbegehung mit Unkrautzählung an Rasterpunkten ist keine wirtschaftliche Teilflächenunkrautbekämpfung in der landwirtschaftlichen Praxis möglich (OEBEL, 2006). Dazu bedarf es einer automatisierten Unkrauterkenung. Digitale Bilderkennungsverfahren sind in der Lage Unkrautarten, oder zumindest Gruppen von Unkrautarten, mit Hilfe verschiedener Charakteristiken (z.B. Ränder, Texturen, Farben und geometrische Merkmale) der Unkrautblätter zu differenzieren (HEMMING, 2000; PEREZ et al., 2000; JAFARI et al., 2006). Mit einem Bilderkennungsprogramm ist es folglich möglich, Unkräuter mit ausgewählten Bildverarbeitungsmethoden zu erkennen und Unkraut- bzw. Spritzkarten für die Herbizid-Applikation zu erstellen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Bildaufnahme

Die Bilder, die für die nachfolgenden Schritte benötigt werden, wurden entweder mit einem digitalen Fotoapparat Canon PowerShot S70, einer Industriekamera mit CMOS-Technologie (Complementary Metal Oxide Semiconductor) oder CCD-Technologie (Charge-coupled Device) aufgenommen. Die Versuche wurden über einen Zeitraum von fünf Jahren in Winterweizen durchgeführt. In den Bildern kamen ausschließlich die Kulturpflanze, *Galium aparine* und *Veronica hederifolia* vor. Die Höhe der Kameras über dem Boden betrug 360 mm. Die Projektionsachse war in ihrer Ausrichtung orthogonal gegenüber dem Boden. Eine künstliche Beleuchtung war nicht vorhanden, sondern das natürliche Umgebungslicht wurde verwendet. Detailliertere Informationen zur Kamertechnologie finden sich in KLUGE und NORDMEYER (2009).

### 2.2 Segmentierung

Als Vorverarbeitungsschritt vor der Anwendung von Bilderkennungsverfahren ist es nötig, die Pflanzen bis auf Einzelpflanzenebene zu segmentieren. Bei sich nicht überlappenden Pflanzen erfolgt dies durch die Transformation des RGB-Farbraums des Originalbilds in den HSV-Farbraum mit zusätzlicher Abbildungsvorschrift, die den Farbtön "grün" ausschneidet:

$$f(x) := \begin{cases} x, & \text{falls } 90^\circ < H(x) < 150 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

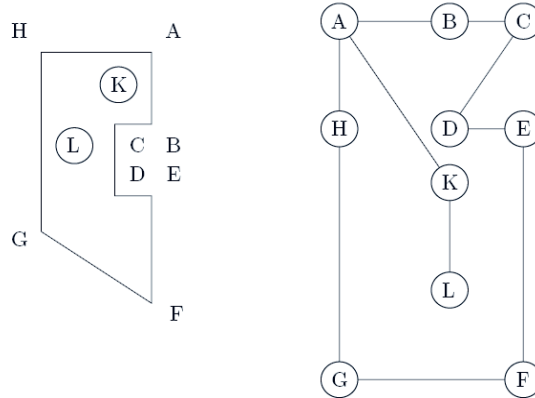
Die I- und V-Komponenten blieben bei den Grüntönen gleich, alle anderen Farbtöne wurden entfernt. Die Berechnung der Farbkomponente folgt der folgenden Vorschrift (TRAVIS, 1991):

$$H := \begin{cases} 0^\circ, & \text{falls } MAX = MIN \\ 60^\circ \cdot \left(0 + \frac{G-B}{MAX-MIN}\right), & \text{falls } MAX = R \\ 60^\circ \cdot \left(2 + \frac{B-R}{MAX-MIN}\right), & \text{falls } MAX = G \\ 60^\circ \cdot \left(4 + \frac{R-G}{MAX-MIN}\right), & \text{falls } MAX = B \end{cases}$$

Beim Überlappen von Pflanzenteilen muss die dritte Dimension berücksichtigt werden. Dies erfolgte durch die Bildaufnahme mit zwei Kameras gleicher Auflösung, die nebeneinander angeordnet waren, so dass mit Hilfe der Stereotriangulation die dritte Dimension errechnet werden konnte.

### 2.3 Graphen Matching

Unter Berücksichtigung markanter Punkte der Einzelpflanze lassen sich pflanzentypische Graphen erzeugen. Das Verfahren (YU und LIU, 2009) wird in Abbildung 1 demonstriert. Markante Punkte (K, L) bzw. Ecken (A-H) werden in einen Graphen überführt, der die Relationen, z.B. Entfernungen untereinander, beschreibt. Weist ein weiterer Graph dieselben Relationen auf, so wird angenommen, dass beide Objekte zur gleichen Klasse gehören.

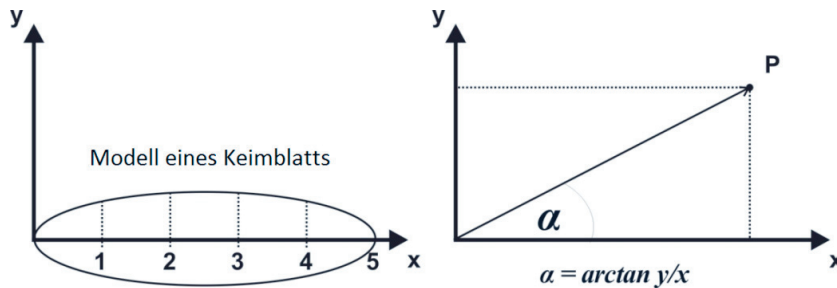


**Abb. 1** Objekt mit zugehörigem Relationsgraph.

**Fig. 1** Object and its graph of relations.

#### 2.4 Winkelmessung innerhalb einer Blattes

Die Methode unterscheidet zwischen den beiden Unkrautarten *Galium aparine* L. und *Veronica hederifolia* L., die im Keimblattstadium sehr ähnlich aussehen. Als Voraussetzung zur Anwendung dieser Methode müssen sich die Blätter wegen fehlender Invarianzeigenschaften in derselben, frei zu definierenden Lage befinden (KLUGE, 2011). Durch Berechnungen des Schwerpunkts und der Hue-Momente (HU, 1962) lässt sich eine Transformationsmatrix bestimmen, die diese Lage erzielt.



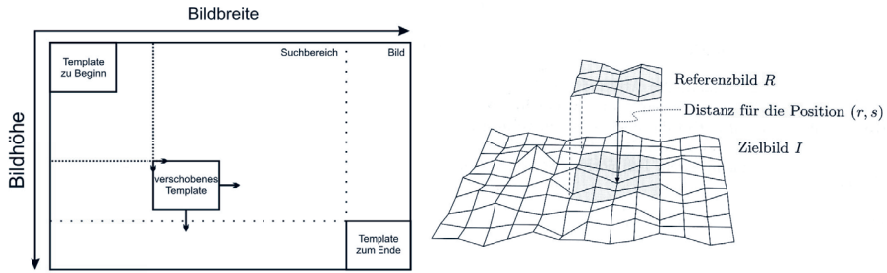
**Abb. 2** Einteilung und Winkelmessung an einem Modellblatt.

**Fig. 2** Arrangement and angular measurement of leaf pattern.

Das dann waagrecht vorliegende Blatt wird in mehrere gleichmäßige Teile zerlegt und die Winkel zwischen Ursprung des Koordinatensystems und des Blattrands für jedes Teilsegment berechnet (Abb. 2). Diese (fünf) Werte werden in einem zuvor trainierten Neuronalen Netz klassifiziert.

#### 2.5 Template Matching

Die Methode des Template Matchings (BURGER und BURGE, 2006) untersucht die Ähnlichkeit eines Referenzbildes mit einem ebenso großen Bildabschnitt. Mit Hilfe der mathematischen Faltung wird im Mittelpunkt des Templates ein neuer Punkt berechnet. Dessen Wert korreliert mit der Ähnlichkeit beider Teilbilder. Das Template wird über das ganze Bild verschoben und an jeder Stelle diese Berechnung durchgeführt (Abb. 3).



**Abb. 3** Bildverschiebung und Berechnungen im Template Matching-Verfahren.

**Fig. 3** Picture shifting and calculation in template matching.

Das Verfahren wurde zur Auffindung von *Galium aparine* konzipiert, so dass als Template, als charakteristisches Merkmal die Blattquirle von *Galium aparine* verwendet werden. Da die Pflanzen im Bild in keiner einheitlichen Richtung stehen, muss ein Template aus jeder möglichen Repräsentation verwendet werden.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Graphen Matching

Für zweikeimblättrige Pflanzen im Keimblattstadium sieht der zugehörige Graph wie ein Rechteck aus (Abb. 4). Damit lassen sich zweikeimblättrige Pflanzen im Keimblattstadium von weiter entwickelten Pflanzen unterscheiden.

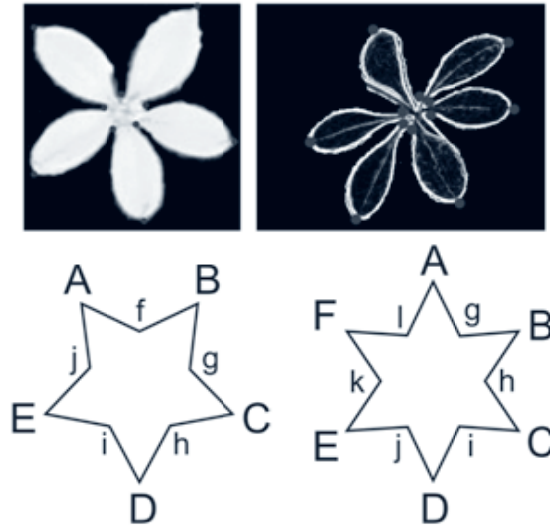


**Abb. 4** Zweikeimblättriges Unkraut im Keimblattstadium (links) mit zugehörigem Graphen (rechts).

**Fig. 4** Dicotyledonous weed plant in the cotyledon growth stage (left) and its representational graph (right).

Für Pflanzen, die über das Keimblattstadium hinaus gewachsen sind, ändern sich die Graphen wie für *Galium aparine* in Abbildung 5 zu sehen ist.





**Abb. 5** Binärbilder (erster Blattquirl) von 5- bzw. 6-blättrigem *Galium aparine* (oben) und die jeweils zugehörigen Graphen (unten).

**Fig. 5** Binary images (first leaf whorl) of 5- respectively 6-leaved *Galium aparine* (top) and the related graphs (bottom).

Für *Matricaria*-Arten wurde ein charakteristischer Graph gefunden, der in Abbildung 6 gezeigt wird.



**Abb. 6** Binärbild (links) und Graph von *Matricaria*-Arten (rechts).

**Fig. 6** Binary image (left) and its graph of *Matricaria* species (right).

In einer formalen Logik lassen sich auf Grund dieser Graphen Trennungen zwischen ein- und zweikeimblättrigen Pflanzen im Keimblattstadium sowie *Galium aparine* und *Matricaria*-Arten im ersten Laubblattstadium unterscheiden.

### 3.2 Winkelmessung innerhalb eines Blattes

Für die Unkrautart *Veronica hederifolia* wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Messwerte ermittelt. Diese sind von der ersten bis zur letzten Messstelle stetig fallend.

Für *Galium aparine* (Tab. 2) ist dieser Effekt ebenfalls zu beobachten, jedoch weisen die Winkel einen steileren Verlauf auf. Die Standardabweichung der Winkel mit ca. 6 Grad und 3 Grad führt in beiden Fällen zur Überschneidung der Wertebereiche, so dass ein Künstliches Neuronales Netz die Entscheidung treffen musste. Damit gelang es eine korrekte Unterscheidung der Pflanzen bei *Galium aparine* von 93,4 % und bei *Veronica hederifolia* von 90,0 % zu erreichen.

**Tab. 1** Errechnete Winkel an den Stützstellen (*Veronica hederifolia*), n = 40.

**Tab. 1** Calculated angles at the nodes (*Veronica hederifolia*), n = 40.

<i>Veronica hederifolia</i>	Messpunkte [Winkel in Grad]				
	1	2	3	4	5
Mittelwert	61,823	47,111	33,758	21,747	0
Standardabweichung	5,833	4,656	5,145	4,466	0
Varianz	34,027	21,683	26,471	19,9462	0
Maximum	68,198	54,246	42,797	29,054	0
Minimum	49,398	39,805	27,512	15,708	0

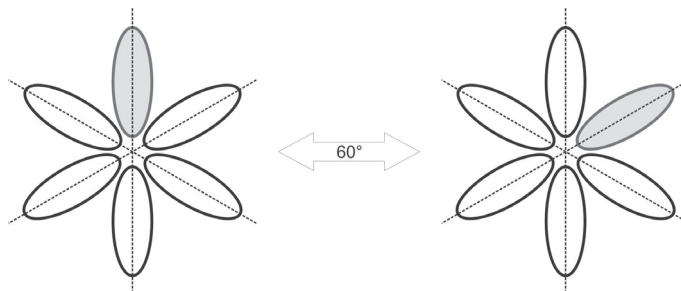
**Tab. 2** Errechnete Winkel an den Stützstellen (*Galium aparine*), n = 40.

**Tab. 2** Calculated angles at the nodes (*Galium aparine*), n = 40.

<i>Galium aparine</i>	Messpunkte [Winkel in Grad]				
	1	2	3	4	5
Mittelwert	57,605	40,290	27,587	18,416	0
Standardabweichung	3,213	3,712	3,109	2,530	0
Varianz	10,323	13,786	9,671	6,403	0
Maximum	63,434	47,489	33,023	21,689	0
Minimum	52,125	30,256	20,323	12,804	0

### 3.3 Template Matching

Mit Pflanzen im Keimblattstadium konnten mit dem Verfahren keine hinreichend gute Unterscheidungen durchgeführt werden. Durch die Beschränkung auf das besondere Merkmal des Blattquirls von *Galium aparine* konnte eine Erkennungsrate zwischen den beiden Gruppen "*Galium aparine*" und "andere Pflanzen" von 72 bis 83 % erzielt werden. Durch die hohe Rechenlast des Verfahrens ist eine Reduktion des Aufwands nötig. Es wurde herausgefunden, dass durch Ausnutzen von Symmetrieeigenschaften 97 % der möglichen Fälle nicht untersucht werden müssen.



**Abb. 7** Symmetrieeigenschaften im Blattquirl von *Galium aparine*.

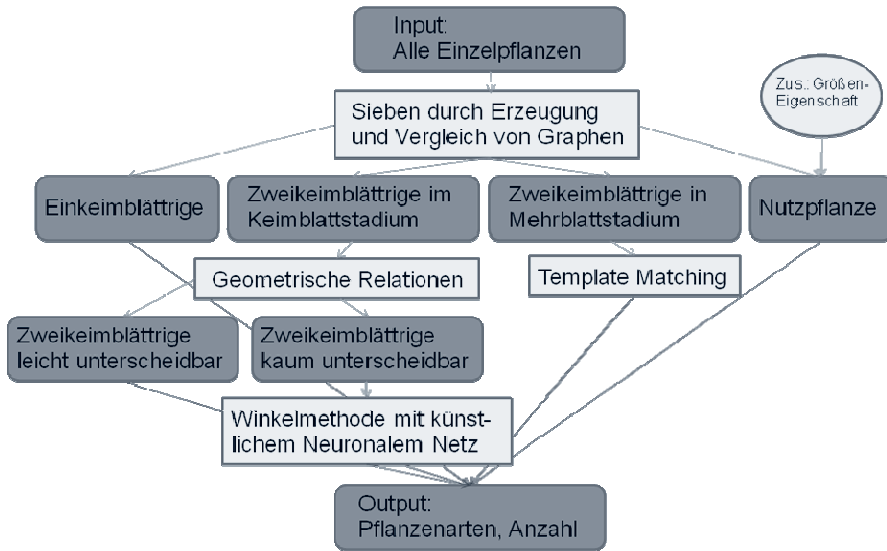
**Fig. 7** Symmetry features at leaf whorl of *Galium aparine*.

Somit reduzieren sich die Templates von 360 auf 10 Stück. In Abbildung 7 sieht man, dass bei einem sechsblättrigen Quirl nach einer 60° Drehung das Template wieder dem ursprünglichen Template

entspricht. Außerdem zeigte sich, dass die Anwendung des Verfahrens mit einem solch idealisierten Modellblatt genügt, um die gewonnene Erkennungsrate zu erzielen.

### 3.4 Wissensbasiertes System

Die Verfahren zur Unkrauterkenntnis sind auf eng begrenzte Umgebungsparameter spezialisiert, so dass ein wissensbasiertes System die Auswahl der geeigneten Methode vollziehen muss. In Abbildung 8 ist das entsprechende System dargestellt.



**Abb. 8** Wissensbasiertes System zur Auswahl einer geeigneten Erkennungsmethode.

**Fig. 8** Knowledge-based system for choosing the best recognition approach.

Durch die Methode des Graphenvergleichs wird eine Selektion in ein- und zweikeimblättrige Unkräuter im Keimblattstadium, zweikeimblättrige Unkräuter im Mehrblattstadium und der Nutzpflanze vorgenommen. Die zweikeimblättrigen Unkräuter werden im Keimblattstadium durch die Winkelmessung und im Mehrblattstadium durch das Template Matching unterschieden.

### 4. Diskussion

Die Qualität der Segmentierung von Pflanzen hat einen direkten Einfluss auf die nachgelagerten Prozesse der Bilderkennung. Damit ist es nötig, dass diese korrekt funktioniert. Im zweidimensionalen Fall kann dies nur unter bestimmten Umständen gewährleistet werden, so dass eine dreidimensionale Segmentierung nötig ist. Diese ist rechenaufwändig, ermöglicht aber die Segmentierung auch bei überlappenden Pflanzen.

Die beschriebenen Verfahren des Graphen Matchings, der Winkelmessung innerhalb eines Blatts und des Template Matchings führen in den entsprechenden Einsatzgebieten zu hohen Erkennungsraten, die insbesondere bei Unkrautarten mit einem niedrigen Schadenschwellenwert (z.B. *Galium aparine*) von hoher Bedeutung sind. Durch ihre Spezialisierung und auf Grund des geplanten Einsatzes in einem einheitlichen Erkennungssystem muss ein wissensbasiertes System zur Wahl der geeigneten Methode eingesetzt werden.

Basierend auf den aus diesen Verfahren gewonnenen Daten können Herbizidmaßnahmen abgeleitet werden.

### Literatur

BURGER, W. UND M. J. BURGE, 2006: DIGITALE BILDVERARBEITUNG - EINE EINFÜHRUNG MIT JAVA UND IMAGEJ. SPRINGER-VERLAG.

- GEROWITT, B. UND R. HEITFUSS, 1990: WEED ECONOMIC THRESHOLDS IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY. CROP PROTECTION **9**, 323 – 331.
- HÄUSLER, A. UND H. NORDMEYER, 1999: CHARACTERIZING SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF WEED SEEDLING POPULATIONS. IN: PROCEEDINGS 2ND EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, PP. 463 – 472. SHEFFIELD ACADEMIC PRESS.
- HEMMING, J., 2000: COMPUTER VISION FOR IDENTIFYING WEEDS IN CROPS. DISSERTATION, UNIVERSITÄT HANNOVER.
- HU, M. K., 1962: VISUAL PATTERN RECOGNITION BY MOMENT INVARIANTS. IRE TRANS. INFO. THEORY **8**, 179 – 187.
- JAFARI, A., S. S. MOHTASEBI, H. E. JAHROMI UND M. O MID, 2006: WEED DETECTION IN SUGAR BEET FIELDS USING MACHINE VISION. INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE AND BIOLOGY **8**, 602 – 605.
- KLUGE, A. UND H. NORDMEYER, 2009: AUTOMATED WEED DETECTION IN WINTER WHEAT BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS. PRECISION AGRICULTURE **10**, 321 – 327.
- KLUGE, A., 2011: METHODEN ZUR AUTOMATISCHEN UNKRAUTERKENNUNG FÜR DIE PROZESSSTEUERUNG VON HERBIZIDMAßNAHMEN. DISSERTATION, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG.
- OEBEL, H. UND R. GERHARDS, 2005: SITE-SPECIFIC WEED CONTROL USING DIGITAL IMAGE ANALYSIS AND GEOREFERENCED APPLICATION MAPS: ON-FARM EXPERIENCES. IN: STAFFORD, J. (HRSG.): PRECISION AGRICULTURE. PP. 231 – 238. ACADEMIC PUBLISHERS, WAGENINGEN.
- OEBEL, H., 2006: TEILSCHLAGSPEZIFISCHE UNKRAUTBEKÄMPFUNG DURCH RAUMBEZOGENE BILDVERARBEITUNG IM OFFLINE- (UND ONLINE-) VERFAHREN. DISSERTATION, UNIVERSITÄT HOHENHEIM.
- PEREZ, A. J., F. LOPEZ, J. V. BENLLOCH UND S. CHRISTENSEN, 2000: COLOUR AND SHAPE ANALYSIS TECHNIQUES FOR WEED DETECTION IN CEREAL FIELDS. COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE **25**, 197 – 212.
- NORDMEYER, H. UND A. ZUK, 2002: TEILFLÄCHENUNKRAUTBEKÄMPFUNG IN WINTERWEIZEN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 459 – 466.
- NORDMEYER, H., 2006: PATCHY WEED DISTRIBUTION AND SITE-SPECIFIC WEED CONTROL IN WINTER CEREALS. IN: STAFFORD, J. (HRSG.): PRECISION AGRICULTURE. PP. 219 – 231. ACADEMIC PUBLISHERS, WAGENINGEN.
- TRAVIS, D., 1991: EFFECTIVE COLOR DISPLAYS. THEORY AND PRACTICE. ACADEMIC PRESS.
- YU, Q. R. UND G. LIU, 2009: GRAPH FACTORS AND MATCHING EXTENSIONS. SPRINGER VERLAG.

### **Sektion 3: Alternative Managementverfahren**

#### **Section 3: Alternative management strategies**

## **Kann ein Mischfruchtanbau von Erbsen und Getreide bei flachwendender Bearbeitung das im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung vorhandene höhere Unkrautaufkommen im Ökologischen Landbau kompensieren?**

*Does a pea-cereal intercropping under shallow ploughing compensate for the higher weed growth compared to deep ploughing in organic farming?*

Annkathrin Gronle\* & Herwart Böhm

Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau,  
Trenthorst 32, D-23847 Westerau

\*Korrespondierender Autor, annkathrin.gronle@vti.bund.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.030

### **Zusammenfassung**

Eine Reduzierung der Bodenbearbeitungstiefe ist im Ökologischen Landbau von besonderem Interesse. Eine flachwendende Bodenbearbeitung führt jedoch im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung mit dem Pflug meistens zu einem höheren Unkrautaufkommen. Ziel dieser Untersuchung war es daher zu prüfen, ob unter den Anbaubedingungen des Ökologischen Landbaus die hohe Unkraut unterdrückende Wirkung beim Mischfruchtanbau von Sommer- bzw. Wintererbsen und Getreide das im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung vorhandene höhere Unkrautaufkommen bei flachwendender Bodenbearbeitung kompensieren kann. Dazu wurden 2009, 2010 und 2011 in Feldversuchen auf sandigem Lehm in Norddeutschland Erbsen und Getreide in Reinsaat und Mischsaat bei tief- und flachwendender Bodenbearbeitung angebaut. Untersucht wurden Gemenge mit halbblattlosen Sommererbsen und Hafer sowie Mischsaaten mit halbblattlosen oder normalblättrigen Wintererbsen und Triticale. Die Unkrautbiomasse zum Erntezeitpunkt lag in den halbblattlosen Sommer- und Wintererbsen-Reinsaaten bei tiefwendender Bodenbearbeitung geringfügig über den Werten der entsprechenden Mischungen bei flachwendender Bodenbearbeitung. Während in der halbblattlosen Wintererbsen-Triticale-Mischsaat zwischen der tief- und der flachwendenden Bodenbearbeitung keine Unterschiede der Unkrautbiomasse festgestellt wurden, führte der Anbau des Sommererbsen-Hafer-Gemenges bei flachwendender Bodenbearbeitung zu einem signifikant höherem Unkrautwachstum im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung. Die normalblättrige Wintererbse bewirkte sowohl in Reinsaat als auch in Mischsaat mit Triticale im Vergleich zu den halbblattlosen Erbsen eine gute Unkrautunterdrückung, wobei keine Unterschiede zwischen der tief- und flachwendenden Bodenbearbeitung vorhanden waren. Die halbblattlosen Sommererbsen-Hafer-Gemenge und Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten konnten somit die Unterschiede im Unkrautaufkommen bei flachwendender Bodenbearbeitung im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaaten der Erbsen bei tiefwendender Bodenbearbeitung kompensieren. Aufgrund des hohen Unkrautunterdrückungs-Potentials der normalblättrigen Wintererbse gab es weder zwischen der tief- und flachwendenden Bodenbearbeitung noch zwischen dem Anbau in Reinsaat oder Mischsaat Unterschiede hinsichtlich des Unkrautaufkommens.

**Stichwörter:** Bodenbearbeitung, Hafer, Sommererbse, Triticale, Unkrautbiomasse, Unkrautunterdrückung, Wintererbse

### **Summary**

The reduction of soil tillage depth is of special interest in organic farming. However, shallow ploughing often results in higher weed abundances in comparison to deep ploughing. Thus, the objective of this study was to evaluate whether the high weed suppressive ability of spring and winter pea-cereal intercrops can compensate for the higher weed growth in shallow ploughing compared to deep ploughing in organic farming. Peas and cereals were grown as sole crops and intercrops under shallow and deep ploughing in experiments on a sandy loam soil in Northern Germany in 2009, 2010 and 2011. Semi-leafless spring peas-oats, semi-leafless winter peas-triticale and regular-leaf type winter peas-triticale intercrops were examined. At harvest, weed shoot biomass in semi-leafless spring and winter pea sole crops under deep ploughing were slightly higher than those of the corresponding intercrops under shallow ploughing. Whereas weed shoot biomass in semi-leafless winter peas-triticale intercrops under deep ploughing was comparable to shallow ploughing, the cultivation of spring

peas-oats intercrops under shallow ploughing led to a significantly higher weed growth than did deep ploughing. The regular-leaf type winter pea grown as a sole crop, or an intercrop with triticale, showed a higher weed suppressive ability than the semi-leafless peas. The tillage system had no significant influence on the weed infestation of sole and intercropped regular-leaf type winter peas. Semi-leafless spring peas-oats and winter peas-triticale intercrops could compensate for weed infestation differences under shallow ploughing compared to the corresponding pea sole crops under deep ploughing. Due to the high weed suppressive ability of regular-leaf type winter peas, shallow ploughing and deep ploughing, as well as sole cropping and intercropping, led to comparable weed infestation.

**Keywords:** Oat, soil tillage, spring pea, triticale, weed biomass, weed suppression, winter peas

## 1. Einleitung

Der Mischfruchtanbau von Körnerleguminosen, wie etwa von Erbsen mit Getreide, hat im Ökologischen Landbau einen hohen Stellenwert. Das im Vergleich zu Körnerleguminosen-Reinsaatbeständen vorhandene hohe Unkrautunterdrückungs-Potential von Körnerleguminosen-Getreide-Mischfruchtbeständen (HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2008) spielt hierfür neben anderen pflanzenbaulichen Vorteilen eine große Rolle. Als Ursache für die unterschiedliche Unkrautunterdrückung der Kulturen kommen eine schnellere Entwicklung des Getreides im Vergleich zur Leguminose und eine dadurch bedingte geringere Lichttransmission und frühere Beschattung der Bodenoberfläche (KIMPEL-FREUND et al., 1998; HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2001) sowie ein höheres Aneignungsvermögen des Getreides für bodenbürtigen Stickstoff (JENSEN, 1996; HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2001; CORRE-HELLOU et al., 2006; NEUMANN et al., 2007) in Frage. Auch eine Konkurrenz um Wasser oder die Abgabe von wachstumshemmenden Substanzen wie etwa bei Hafer (KATO-NOGUCHI et al., 1994) könnten hier ursächlich sein.

Aufgrund von boden- und ressourcenschonenden Vorteilen besteht im Ökologischen Landbau verstärkt das Interesse anstatt tiefwendender Pflug-Bearbeitung, Verfahren reduzierter Bodenbearbeitung einzusetzen. Problematisch bei reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren, wie etwa bei der flachwendenden Bodenbearbeitung, ist hier insbesondere eine Zunahme des Unkrautaufkommens annualer und perennierender Arten (KOUWENHOVEN et al., 2002; BAKKEN et al., 2009).

Ziel dieser Untersuchung ist es daher zu prüfen, ob das hohe Unkrautunterdrückungs-Potential beim Mischfruchtanbau von Erbsen und Getreide das im Vergleich zur tiefwendenden Pflug-Bearbeitung höhere Unkrautaufkommen nach flachwendender Bodenbearbeitung kompensieren kann.

## 2. Material und Methoden

Für die Untersuchung wurden auf den Flächen des Instituts für Ökologischen Landbau in Trenthorpe (Parabraunerde-Pseudogley, sL, 53 Bodenpunkte, 8,7 °C Durchschnittstemperatur, 740 mm Jahresniederschlag) zweijährige Feldversuche mit Sommererbsen (2009, 2010) und Wintererbsen (2009/2010, 2010/2011) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung als Split-Plot-Anlage in vierfacher Wiederholung angelegt. Für den Versuchsfaktor Bodenbearbeitung (Großteilstücke) wurde eine tiefwendende Bearbeitung (Stoppelbearbeitung: Grubber, Grundbodenbearbeitung: Pflug [P]) mit einer flachwendenden Bearbeitung (Stoppel- und Grundbodenbearbeitung: Stoppelhobel [SH]) verglichen, die jeweils im Herbst durchgeführt wurde. In der Variante mit Stoppelhobel-Bearbeitung erfolgte in allen Versuchen zunächst eine flache Bearbeitung mit einer Bearbeitungstiefe von 4-6 cm. Nach 14 Tagen wurde der Boden dann in einem zweiten Arbeitsgang bis in eine Tiefe von 10-12 cm bearbeitet. Die Bearbeitungstiefe in der tiefwendenden Bearbeitungsvariante war beim Grubber 8-10 cm und beim Pflug 25-27 cm. Die Versuche wurden auf Flächen durchgeführt, die in den Vorjahren betriebsüblich mit dem Pflug bearbeitet wurden.

Während der Mischfruchtanbau bei den Sommererbsen in Form eines Gemenges mit Hafer erfolgte, war der Mischungspartner bei den Wintererbsen Triticale, wobei hier in alternierenden Reihen gesät wurde. Die Saatstärke lag in den Sommererbsen-Versuchen in der Erbsen-Reinsaat bei 80 Körnern Erbse/m<sup>2</sup> (Sorte Santana, halbblattlos), in der Hafer-Reinsaat bei 300 Körnern/m<sup>2</sup> (Sorte Dominik) und

im Erbsen-Hafer-Gemenge bei 80 Körnern Erbse + 60 Körner Hafer/m<sup>2</sup>. In den Versuchen mit Wintererbsen erfolgte die Untersuchung an den beiden Sorten EFB 33 (normalblättrig) und James (halbblattlos). In beiden Fällen wurde jeweils eine Wintererbsen-Reinsaat (80 Körner/m<sup>2</sup>), eine Triticale-Reinsaat (300 Körner/m<sup>2</sup>, Sorte Grenado) und eine Wintererbsen-Triticale-Mischsaat (40 Körner Wintererbse + 150 Körner Triticale/m<sup>2</sup>) angebaut.

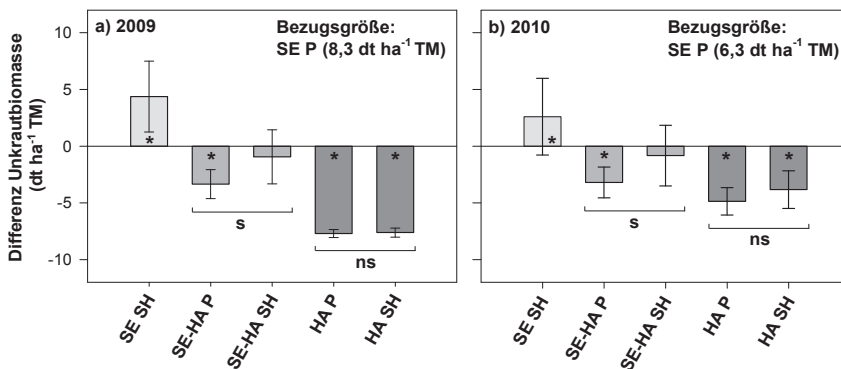
In allen Versuchen erfolgte keine mechanische Unkrautbekämpfung. Um eine Verfälschung von Daten durch die schon vor Versuchsbeginn vorhandenen perennierenden Unkrautarten (fast ausschließlich Ackerkratzdisteln [*Cirsium arvense* (L.) Scop.]) zu verhindern, wurden diese in regelmäßigen Abständen von Hand aus den Parzellen entfernt. Dominierende Unkrautarten waren in den Sommererbsen-Versuchen und dem Wintererbsen-Versuch 2009/2010 *Stellaria media* (L.) Vill. und *Lamium purpureum* L. *Galium aparine* L. war neben diesen beiden Arten die häufigste auftretende Unkrautart in den Wintererbsen des Anbaujahres 2010/2011. Zum Erntezeitpunkt wurde in allen Versuchen die oberirdische Biomasse annueller Unkräuter von einem Quadratmeter pro Parzelle beerntet und drei Tage bei 60 °C getrocknet.

Die Daten wurden varianzanalytisch mit der Prozedur MIXED mit Hilfe des Statistikprogramms SAS 9.2 verrechnet. Aufgrund der unterschiedlichen Witterungsbedingungen wurden die Daten getrennt für die beiden Versuchsjahre ausgewertet. Den Varianzanalysen folgten multiple Mittelwertvergleiche mit Hilfe des Tukey-Kramer Tests für das Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ .

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Differenzierte Bodenbearbeitung zu Sommererbsen in Reinsaat und Gemenge

Zum Erntezeitpunkt war in der Sommererbsen-Reinsaat in der tiefwendenden Bodenbearbeitung eine Unkrautbiomasse von 8,3 dt/ha TM (2009) bzw. von 6,3 dt/ha TM (2010) vorhanden. Ein Anbau von Sommererbsen in Reinsaat in der flachwendenden Variante führte im Vergleich dazu zu einem um 4,4 dt/ha (2009) und 2,6 dt/ha TM (2010) signifikant höherem Unkrautauflkommen (Abb.1).



**Abb. 1** Differenzen der Unkrautbiomasse (Mittelwerte  $\pm$  SD) in der Sommererbsen-Reinsaat (SE), der Hafer-Reinsaat (HA) und dem Sommererbsen-Hafer-Gemenge (SE-HA) bei tief- (P) und flachwendender (SH) Bodenbearbeitung im Vergleich zur Bezugsgröße Sommererbsen-Reinsaat bei tiefwendender Bearbeitung (SE P) in den Jahren 2009 (a) und 2010 (b). \* = Unkrautbiomasse signifikant von SE P verschieden, s = signifikant, ns = nicht signifikant.

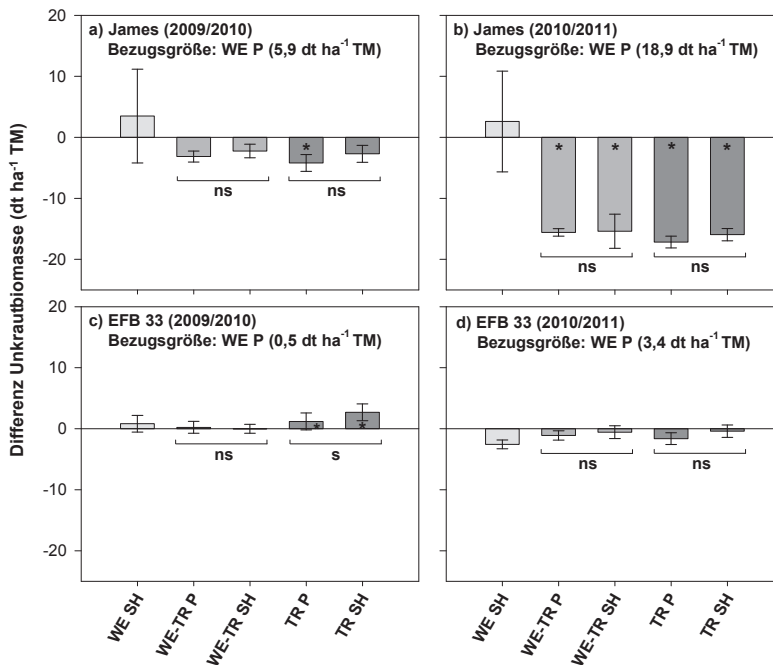
**Fig. 1** Differences in weed biomass (means  $\pm$  SD) in spring peas (SE) and oats (HA) sole crops and intercrops (SE-HA) under deep (P) and shallow (SH) ploughing compared to the reference value spring peas under deep ploughing (SE P) in 2009 (a) and 2010 (b). \* = Weed biomass significantly different from SE P, s = significant, ns = non significant.

Während ein Gemengeanbau von Sommererbsen und Hafer in der tiefwendenden Variante in beiden Jahren zu einem um 3,4 dt/ha TM (2009) und 3,2 dt/ha TM (2010) signifikant geringerem Unkrautauflkommen im Vergleich zur Sommererbsen-Reinsaat führte, war in der flachwendenden

Bearbeitung nur eine tendenziell geringere Unkrautbiomasse vorhanden. Das geringste Unkrautwachstum war in beiden Bodenbearbeitungen in den Hafer-Reinsaaten festzustellen, wobei dieser Effekt 2009 stärker ausgeprägt war als im Anbaujahr 2010. In den Hafer-Reinsaaten war bei der Unkrautbiomasse in keinem der beiden Anbaujahre ein signifikanter Unterschied zwischen dem Anbau bei tief- und flachwendender Bodenbearbeitung zu verzeichnen.

### 3.2 Differenzierte Bodenbearbeitung zu Wintererbsen in Rein- und Mischsaat

Trotz eines sehr unterschiedlichen Unkrautauftkommens mit 5,9 dt/ha TM in 2009 und 18,9 dt/ha TM im Jahr 2010 jeweils in der Reinsaat der halbblattlosen Wintererbsen-Sorte James bei tiefwendender Bearbeitung, führte der Anbau von James in Rein- und Mischsaat bei differenzierter Bodenbearbeitung in beiden Anbaujahren zu vergleichbaren Ergebnissen (Abb. 2a,b). In der Variante James-Reinsaat bei flachwendender Bearbeitung wurde in beiden Jahren im Vergleich zur Variante mit tiefwendender Bearbeitung tendenziell (3,5 dt/ha TM [2009] bzw. 2,6 dt/ha TM [2010]) mehr Unkrautbiomasse ermittelt. In beiden Jahren führte der Anbau der James-Triticale-Mischsaat und der Triticale-Reinsaat zu einem vergleichbaren und damit zum geringsten Unkrautauftkommen aller Varianten. Zwischen der tief- und der flachwendenden Bodenbearbeitung waren bei diesen beiden Kulturen keine signifikanten Unterschiede vorhanden. Im Vergleich zu 2009 war der Unterschied zwischen diesen Varianten und der James-Reinsaat bei tiefwendender Bearbeitung 2010 stärker ausgeprägt.



**Abb. 2** Differenzen der Unkrautbiomasse (Mittelwerte  $\pm$  SD) in der Wintererbsen-Reinsaat (WE), der Triticale-Reinsaat (TR) und der Wintererbsen-Triticale-Mischsaat (WE-TR) bei tief- (P) und flachwendender (SH) Bodenbearbeitung im Vergleich zur Bezugsgröße Wintererbsen-Reinsaat bei tiefwendender Bodenbearbeitung (WE P) für die Wintererbsen-Sorten James (a,b) und EFB 33 (c,d) in den Jahren 2009/2010 (a,c) und 2010/2011 (b,d). \* = Unkrautbiomasse signifikant von WE P verschieden, s = signifikant, ns = nicht signifikant.

**Fig. 2** Differences in weed biomass (means  $\pm$  SD) in winter peas (WE) and triticale (TR) sole crops and intercrops (WE-TR) under deep (P) and shallow (SH) ploughing compared to the reference value winter peas under deep ploughing (WE P) for the winter peas varieties James (a,b) and EFB 33 (c,d) in 2009/2010 (a,c) and 2010/2011 (b,d). \* = Weed biomass significantly different from WE P, s = significant, ns = non significant.



Die Versuche zum Anbau der normalblättrigen Wintererbsen-Sorte EFB 33 bei differenzierter Bodenbearbeitung führten in den zwei Anbaujahren zu unterschiedlichen Ergebnissen. Im Anbaujahr 2009/2010 war in der EFB 33-Reinsaat bei tiefwendender Bearbeitung und in der EFB 33-Triticale-Mischsaat bei flachwendender Bearbeitung mit jeweils 0,5 dt/ha TM das geringste Unkraut-aufkommen aller Varianten vorhanden (Abb. 2c,d). Der Anbau der Triticale-Reinsaaten führte im Vergleich dazu zu den signifikant höchsten Werten, wobei zwischen der tiefwendenden mit einer um 1,2 dt/ha TM und der flachwendenden Bodenbearbeitungs-Variante mit einer um 2,7 dt/ha TM höheren Unkrautbiomasse ebenfalls signifikante Unterschiede vorlagen. Im zweiten Anbaujahr ergab sich in der Tendenz bei allen Varianten im Vergleich zur EFB 33-Reinsaat bei tiefwendender Bearbeitung (3,4 dt/ha TM) ein geringeres Unkraut-aufkommen. Die tendenziell niedrigste Unkrautbiomasse zur Ernte war in der Variante EFB 33-Reinsaat bei flachwendender Bodenbearbeitung sowie beim Anbau der Triticale-Reinsaat bei tiefwendender Bearbeitung vorhanden.

#### 4. Diskussion

In den Versuchen zum Reinsaat- und Gemengeanbau von Sommererbsen war in beiden Bodenbearbeitungs-Varianten das höchste Unkraut-aufkommen zum Erntezeitpunkt in den Erbsen-Reinsaaten, gefolgt von den Erbsen-Hafer-Gemengen und den Hafer-Reinsaaten festzustellen. Ein Anbau der halbblattlosen Wintererbse James in Mischsaat mit Triticale führte ebenfalls wie auch die geprüfte Triticale-Reinsaat zu einem geringeren Unkraut-aufkommen im Vergleich zu den James-Reinsaaten in der gleichen Bodenbearbeitung, wobei zwischen der Triticale-Reinsaat und der Mischsaat hier keine Unterschiede vorhanden waren. Dies zeigt die gute Unkraut-unterdrückende Wirkung von Körnerleguminosen-Getreide-Gemengen bzw. Mischsaaten und Getreide-Reinsaaten im Vergleich zu Erbsen-Reinsaaten und deckt sich damit mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (KIMPEL-FREUND et al., 1998; HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2001; POGGIO, 2005).

Beim Anbau der Wintererbsen-Sorte EFB 33 war im Jahr 2009 zum Erntezeitpunkt in Reinsaat und Mischsaat ein geringeres Unkraut-aufkommen festzustellen als in beiden Triticale-Reinsaaten. Im zweiten Anbaujahr waren, trotz eines hohen Unkrautdrucks insbesondere durch *G. aparine*, keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kulturen vorhanden. Das geringe Unkraut-aufkommen bei dieser Wintererbsen-Sorte kann auf ihren normalblättrigen Wuchstyp zurückgeführt werden. Auch URBATZKA (2010) konnte bei normalblättrigen Wintererbsen eine gute Unkrautunterdrückung nachweisen. Sowohl ein geringer Aufgang der Triticale als auch ein starker Befall mit Braunrost könnte für das gegenüber den Rein- und Mischsaaten mit EFB 33 höhere Unkraut-aufkommen der Triticale-Reinsaaten im Jahr 2009 verantwortlich sein.

Im Vergleich zur tiefwendenden Bodenbearbeitung wurden in den Sommererbsen-Versuchen in der flachwendenden Bodenbearbeitungs-Variante in der Erbsen-Reinsaat und im Gemenge signifikant höhere Unkrautbiomassen zur Ernte erfasst. Während die Höhe der annualen Unkrautbiomasse in der Hafer-Reinsaat im Anbaujahr 2009 in beiden Bodenbearbeitungen identisch war, lag 2010 das Unkraut-aufkommen in der flachwendenden Bearbeitung tendenziell über dem der tiefwendenden Variante. Diese unterschiedlichen Ergebnisse in den Hafer-Reinsaaten in den beiden Anbaujahren könnten durch eine witterungsbedingte schlechte Bestockung und ein geringes Wachstum beim Hafer im Jahr 2010 bedingt sein. Ursächlich für den, im Gegensatz zur Hafer-Reinsaat in beiden Anbaujahren vorhandenen, signifikanten Unterschied im Unkraut-aufkommen zwischen der tief- und flachwendenden Bearbeitung in Erbsen-Reinsaat und Gemenge könnte das unterschiedliche Unkrautunterdrückungs-Potential der Kulturen im Zusammenspiel mit einer verstärkten Ansammlung von Unkrautsamen in der oberen Bodenschicht nach flachwendender Bodenbearbeitung sein (KOUWENHOVEN et al., 2002).

In den Versuchen mit der halbblattlosen Wintererbse James war in der James-Reinsaat in der flachwendenden Bodenbearbeitungs-Variante, wie auch bei der halbblattlosen Sommererbsen-Reinsaat, eine höhere Unkrautbiomasse im Vergleich zum Anbau nach tiefwendender Bodenbearbeitung festzustellen. Im Gegensatz zu den Sommererbsen-Versuchen war hier weder in der Triticale-Reinsaat noch in der James-Triticale-Mischsaat ein signifikanter Unterschied zwischen

der tief- und flachwendenden Bodenbearbeitung vorhanden.

Die unterschiedliche Zusammensetzung des Sommererbsen-Hafer-Gemenges mit einem höheren Erbsen- und einem geringen Getreideanteil im Vergleich zur James-Triticale-Mischsaat mit einem hohen Getreide- und einem geringen Erbsenanteil, könnte eine Erklärung für den nicht vorhandenen Unterschied zwischen den Bodenbearbeitungen in der James-Mischsaat sein.

In den Versuchen mit der normalblättrigen Wintererbse EFB 33 waren mit Ausnahme der Triticale-Reinsaat im Anbaujahr 2009 keine signifikanten Unterschiede zwischen der tief- und der flachwendenden Bodenbearbeitung vorhanden. Ursächlich für die höhere Unkrautbiomasse zum Zeitpunkt der Ernte in der Triticale-Reinsaat bei flachwendender Bearbeitung könnte hier die geringere Biomassebildung der Triticale im Vergleich zur tiefwendenden Bodenbearbeitungs-Variante sein. Auch das 2010 in der flachwendenden Variante bei der EFB 33-Reinsaat im Vergleich zur tiefwendenden Variante tendenziell geringere Unkrautaufkommen, das sich gegensätzlich zu den Verhältnissen im Anbaujahr 2009 verhielt, kann auf eine bessere Pflanzenentwicklung der Wintererbse zurückgeführt werden.

Ein Anbau von halbblattlosen Sommererbsen in Reinsaat bei tiefwendender Bodenbearbeitung führte zu einem etwas höheren Unkrautaufkommen im Vergleich zum Sommererbsen-Hafer-Gemengeanbau bei flachwendender Bodenbearbeitung. Somit kann ein Mischfruchtanbau von halbblattlosen Sommererbsen und Hafer bei flachwendender Bodenbearbeitung das höhere Unkrautaufkommen kompensieren. Allerdings bewirkte der Mischfruchtanbau in Kombination mit tiefwendender Bodenbearbeitung eine noch bessere Unkrautunterdrückung. Der Anbau der James-Reinsaat bei tiefwendender Bodenbearbeitung führte in beiden Jahren ebenfalls zu einem höheren Unkrautaufkommen im Vergleich zur Mischsaat bei flachwendender Bearbeitung. Gleichzeitig waren keine Unterschiede der Unkrautbiomasse zwischen den Bodenbearbeitungen in der James-Mischsaat vorhanden. Daraus kann geschlossen werden, dass ein Anbau der halbblattlosen Wintererbsen-Sorte James in Mischsaat mit Triticale in der flachwendenden Bearbeitung das im Vergleich zur Pflug-Bearbeitung vorhandene höhere Unkrautaufkommen im Ökologischen Landbau kompensieren kann. Aufgrund des normalblättrigen Wuchstyps der Wintererbsen-Sorte EFB 33 sind die Unterschiede im Unkrautaufkommen zwischen den Kulturen und den unterschiedlichen Bodenbearbeitungstiefen relativ gering. Entscheidend für das Unkrautaufkommen ist hier insbesondere das Wachstum und die Entwicklung der Wintererbse, die wie 2010 auch von der Bodenbearbeitung beeinflusst werden können. Aus herbologischer Sicht ist ein Mischfruchtanbau mit Triticale nicht erforderlich um das höhere Unkrautaufkommen bei flachwendender Bodenbearbeitung zu kompensieren. Aus pflanzenbaulicher Sicht kann ein Anbau der langstrohigen, normalblättrigen Sorte EFB 33 in Reinsaat wegen der großer Lagergefahr und den dadurch bedingten Problemen bei der Ernte jedoch nicht empfohlen werden.

Ob ein Mischfruchtanbau von Erbsen und Getreide bei flachwendender Bodenbearbeitung das im Vergleich zur tiefwendenden Pflug-Bearbeitung vorhandene höhere Unkrautaufkommen im Ökologischen Landbau kompensieren kann, ist abhängig vom Wuchstyp der Erbsen. Bei halbblattlosen Erbsen ist dieser Effekt deutlicher ausgeprägt als bei Erbsen mit normalblättrigem Wuchstyp. Außerdem spielt die Zusammensetzung des Mischfruchtbestandes, die Entwicklung und das Wachstum der Kulturpflanzen sowie der Unkrautdruck am Standort hierfür eine große Rolle.

### **Danksagung**

Die Untersuchung wurde im Rahmen des Projektes "Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebauter Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit" durchgeführt, das im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) gefördert wird (FKZ 08OE009).

## Literatur

- BAKKEN, A.K., L.O. BRANDSÆTER, R. ELTUN, S. HANSEN, K. MANGERUD, R. POMMERESCHE UND H. RILEY, 2009: EFFECT OF TRACTOR WEIGHT, DEPTH OF PLOUGHING AND WHEEL PLACEMENT DURING PLOUGHING IN AN ORGANIC CEREAL ROTATION ON CONTRASTING SOILS. *SOIL & TILLAGE RESEARCH* **103**, 433-441.
- CORRE-HELLOU, G., J. FUSTEC UND Y. CROZAT, 2006: INTERSPECIFIC COMPETITION FOR SOIL N AND ITS INTERACTION WITH N<sub>2</sub> FIXATION, LEAF EXPANSION AND CROP GROWTH IN PEA-BARLEY INTERCROPS. *PLANT AND SOIL* **282**, 195-208.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS UND E.S. JENSEN, 2001: INTERSPECIFIC COMPETITION, N USE AND INTERFERENCE WITH WEEDS IN PEA-BARLEY INTERCROPPING. *FIELD CROPS RESEARCH* **70**, 101-109.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., B. JØRNSGAARD, J. KINANE UND E.S. JENSEN, 2008: GRAIN LEGUME-CEREAL INTERCROPPING: THE PRACTICAL APPLICATION OF DIVERSITY, COMPETITION AND FACILITATION IN ARABLE AND ORGANIC CROPPING SYSTEMS. *RENEWABLE AGRICULTURE AND FOOD SYSTEMS* **23**, 3-12.
- JENSEN, E.S., 1996: GRAIN YIELD, SYMBIOTIC N<sub>2</sub> FIXATION AND INTERSPECIFIC COMPETITION FOR INORGANIC N IN PEA-BARLEY INTERCROPS. *PLANT AND SOIL* **182**, 25-38.
- KATO-NOGUCHI, H., J. MIZUTANI UND K. HASEGAWA, 1994: ALLELOPATHY OF OATS. II. ALLELOCHEMICAL EFFECT OF L-TRYPTOPHAN AND ITS CONCENTRATION IN OAT ROOT EXUDATES. *JOURNAL OF CHEMICAL ECOLOGY* **20**, 315-319.
- KIMPEL-FREUND, H., K. SCHMIDTKE UND R. RAUBER, 1998: EINFLUSS VON ERBSEN (*PISUM SATIVUM* L.) MIT UNTERSCHIEDLICHEN MORPHOLOGISCHEN MERKMALEN IN REINSAAT UND GEMENGE MIT HAFER (*AVENA SATIVA* L.) AUF DIE KONKURRENZ GEGENÜBER UNKRÄUTERN. *PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN* **2**, 25-36.
- KOUWENHOVEN, J.K., U.D. PERDOK, J. BOER UND G.J.M. OOMEN, 2002: SOIL MANAGEMENT BY SHALLOW MOULDBOARD PLOUGHING IN THE NETHERLANDS. *SOIL & TILLAGE RESEARCH* **65**, 125-139.
- NEUMANN, A., K. SCHMIDTKE UND R. RAUBER, 2007: EFFECTS OF CROP DENSITY AND TILLAGE SYSTEM ON GRAIN YIELD AND N UPTAKE FROM SOIL AND ATMOSPHERE OF SOLE AND INTERCROPPED PEA AND OAT. *FIELD CROPS RESEARCH* **100**, 285-293.
- POGGIO, S.L., 2005: STRUCTURE OF WEED COMMUNITIES OCCURRING IN MONOCULTURE AND INTERCROPPING OF FIELD PEA AND BARLEY. *AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT* **109**, 48-58.
- URBATZKA, P., 2010: ANBAUWÜRDIGKEIT VON WINTERERBSEN – EIN VERGLEICH ZU SOMMERERBSEN IN REIN- UND GEMENGE SAAT UNTER DEN BEDINGUNGEN DES ÖKOLOGISCHEN LANDBAUS. DISSERTATION UNIVERSITÄT KASSEL. VERLAG DR. KOVAČ, HAMBURG.



## Mechanical control of weeds within the crop row of organically grown soybeans

*Mechanische Unkrautregulierung in der Saatreihe von Soja*

Jürg Hiltbrunner\*, Carolin Luginbühl, Ueli Buchmann, Christine Herzog, Hansruedi Hunziker & Caroline Scherrer  
Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zurich, Switzerland

\*Corresponding author, juerg.hiltbrunner@art.admin.ch

DOI: 10.5073/jka.2012.434.031

### Summary

Despite the increasing demand for organically grown soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.), this crop is barely cultivated on organic farms in Switzerland. One reason is that an economically feasible organic cultivation of soybeans mainly depends on the successful control of weeds – especially within the crop row. The aim of this study was to investigate the effect of three types of weeding machines (finger hoe = FI, torsion hoe = TO, weeder harrow = WE) and of two combinations thereof (FI+WE, TO+WE) on the control of two model weed species (*Brassica x chinensis* L. and *Phacelia tanacetifolia* L.) seeded at the same time as the soybean directly in the rows of soybeans. In all plots, including the control plots, hoeing between the rows was conducted. Experiments were conducted from 2007 to 2010 in the surrounding of Zurich (Switzerland). Soil cover (%) of the two model weed species and soybeans in the crop row was evaluated. In addition, the yield of the main crop was assessed in two growing seasons.

Averaged over three years, the soil cover within the crop row was reduced after two interventions by 17 % (WE) up to 45 % (FI) for *P. tanacetifolia* when the machines were used alone. The combination of the machines increased the effect and resulted in the best control with FI+WE with a reduction of 60 %. A comparable effect with the same ranking of the machines was found for *Brassica x chinensis*. FI+WE did not only provide the highest weed control level but also showed significantly higher yields (2.91 t/ha) than the control (2.49 t/ha). The data show that the control of weeds within the row of soybeans can be successful and as a consequence also the cultivation of organically produced soybean. However, the optimal plant growth stages for the weed regulation has to coincide with ideal weather and soil conditions.

**Keywords:** *Brassica x chinensis* L., *Glycine max* (L.) Merr., organic farming, *Phacelia tanacetifolia* L.

### Zusammenfassung

Trotz zunehmender Nachfrage nach biologisch angebauter Soja (*Glycine max* (L.) Merr.) wird diese interessante Kultur in der Schweiz selten angebaut. Grund dafür ist die langsame Jugendentwicklung und die damit im Ökolandbau verbundenen Herausforderungen für eine wirtschaftliche und gleichzeitig wirksame Regulierung der Begleitflora, insbesondere in den Reihen der Soja. Ziel dieser Versuche war es, die Wirkung von drei verschiedenen Unkrautregulierungs-geräten (Fingerhacke = FI, Torsionshacke = TO, Striegel = WE) und zwei Kombinationen davon (FI+WE, TO+WE) auf zwei direkt in die Sojareihen eingesäten Pflanzenarten (*Brassica x chinensis* L. und *Phacelia tanacetifolia* L.) zu untersuchen. Die Versuche wurden von 2007 bis 2010 in der Umgebung von Zürich (Schweiz) durchgeführt. Der Bodenbedeckungsgrad (%) der beiden Pflanzenarten sowie der Hauptkultur wurde in der Sojareihe erfasst. Zusätzlich wurde in zwei Jahren der Ertrag von Soja erfasst.

Im Mittel von drei Jahren konnte nach zwei Durchgängen der Bodenbedeckungsgrad von *P. tanacetifolia* um 17 % (WE) bis 45 % (FI) vermindert werden, wenn die Maschinen einzeln eingesetzt wurden. Die Kombination der Maschinen verstärkte den Effekt und führte im besten Verfahren zu einer Reduktion von 60 % (FI+WE). Einen vergleichbaren Effekt mit derselben Rangfolge der Verfahren wurde für *Brassica x chinensis* beobachtet. Das Verfahren Fingerhacke kombiniert mit dem Striegel (FI+WE) hatte nicht nur die beste unkrautunterdrückende Wirkung sondern führte zusätzlich zu einem signifikant höheren Kornertrag (2,91 t/ha) als das Kontrollverfahren (2,49 t/ha). Die Daten zeigen, dass die untersuchten Pflanzenarten in der Reihe wirksam reguliert werden können und folglich auch Soja unter biologischen Bedingungen erfolgreich angebaut werden kann. Voraussetzung ist aber, dass die mechanischen Eingriffe in einem optimalen Pflanzenstadium sowie bei guten Witterungs- und Bodenbedingungen erfolgen können.

**Stichwörter:** Biologischer Landbau, *Brassica x chinensis* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Phacelia tanacetifolia* L., Phacelia, Rübsen

## 1. Introduction

Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) is the most important oil crop worldwide. Additionally to the high oil content, the plant provides high quality protein for human and animal nutrition. In Switzerland, there is a rising demand for organically-grown soybean. Despite of the interesting price and its positive effect on the following crop (N input via N-fixation), farmers do not cultivate soybeans because of the challenge of successful control of weeds due to the slow initial development of soybeans and the risk of weed presence during the ripening of the soybean. Nevertheless, indirect or direct methods such as planting in narrow rows, increase of seed density, intercropping and flame weeding are known to control weeds in organic soybean production. Hoeing in between the rows can be effective (IRLA, 1995) but its success depends on weather and soil conditions. The mechanical control of weeds within the crop row is difficult. The objective of this study was to investigate the effect of three types of weeding machines and two combinations thereof on the soybeans itself and on two plant species sown in the crop row.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Plant material, experimental location and treatments

The field study was conducted from 2007 to 2010 at Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station (ART) in Zurich (450 m above sea level, average temperature: 9.2 °C, average annual precipitation: 1040 mm) on a brown earth soil. Soybeans (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Gallec) were sown with a row distance of 0.36 m. As model weeds two dicotyledonous species [the fast growing and competitive *Brassica x chinensis* L. (8 kg/ha) and the less competitive *Phacelia tanacetifolia* L. (4 kg/ha)] were sown at the same time as the soybean directly into the row of soybeans. Neither chemicals nor fertilizers were applied. Three different types of machines were applied twice (Tab. 1) to control weeds within the row of the main crop: Torsion hoe (TO), finger hoe (FI) and weeder harrow<sup>2</sup> (WE). In addition two combinations thereof were investigated TO+WE and FI+WE. In all plots, including the control (H), hoeing in between the crop rows was applied. Before and after each investigation, the soil cover (%) of the model weeds, of other occurring plant species as well as of soybeans was scored two times per plot on a length of 1 m in the ultimate proximity of the crop row resulting in an area of 0.25 m<sup>2</sup> each. By the end of September, soybeans were harvested with a small plot combine. Yields have been corrected to t/ha at 11 % humidity.

**Tab. 1** Dates of sowing, interventions applied to control weeds (with growth stage of the main crop) and harvest date of the soybean field trials conducted from 2007 to 2010 in the surrounding of Zurich.

**Tab. 1** Saat- und Erntetermine sowie Zeitpunkte der Unkrautregulierungsmassnahmen (inklusive Wachstumsstadium der Hauptkultur) in den Feldversuchen mit Soja der Jahre 2007 bis 2010 in der Umgebung von Zürich.

Agricultural practice	Year			
	2007	2008	2009	2010
Sowing	April 26	May 6	May 8	April 23
Intervention 1 (BBCH <sup>1</sup> )	May 11 (11)	May 16 (10)	May 22 (11)	June 5 (12)
Intervention 2 (BBCH)	*	May 23 (11)	June 3 (13)	June 15 (>14)
Harvest	*	Sept. 29 (89)	Sept. 30 (89)	*

<sup>1</sup>BBCH (Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt für Chemische Industrie), MUNGER et al. (1997). \*trial not continued.

### 2.2 Experimental design and data analysis

The experiments were established in a strip plot design with three replicates. Within each strip the treatments were distributed randomly. Plot size was 12.75 m<sup>2</sup> and 6.75 m<sup>2</sup> in 2007 and 2008 to 2010, respectively. Prior to analyses, data were checked for normal distribution. Statistical analyses were

<sup>2</sup>English translation for the German weeding machine „Striegel“

conducted with the open source Programme R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007) using analysis of variance (ANOVA). Mean separation was accomplished using Tukey HSD (Honestly Significant Difference) test at a 0.05 probability level.

### 3. Results

Analyses of variance did not reveal any significant interaction between the factor year and management for any of the data analyzed except for the soil cover of *P. tanacetifolia* after the first intervention (P.1). This significant interaction was due to data of 2010 where the weeder harrow in combination with the torsion hoe did not increase the effect of the torsion hoe (if applied alone).

#### 3.1 Impact of the tested machines on the soil cover of the two model weeds

After the first intervention, no impact on the two model weed species was observed (Tab. 2). After the second intervention, soil cover of *P. tanacetifolia* reached 19 % in the control treatment and was reduced with the finger hoe (FI) by 45 %. This effect was even more pronounced when FI was applied in combination with the weeder harrow (FI+WE) and decreased the cover of *P. tanacetifolia* by 60 %. Also for torsion hoe (TO), the effect was increased from 18 % to 49 % when applied in combination with the weeder harrow (TO+WE). This effect was less pronounced for *Brassica x chinensis* resulting in a significant decrease only for FI+WE after the second intervention. Soil cover did not differ before harvest for *Brassica x chinensis* whereas for *P. tanacetifolia*, the effect of TO+WE and FI+WE still was observed (data not shown). The date of the first intervention had an impact on the effect of the treatments applied: Due to unfavourable weather conditions in 2007 and 2010 the first intervention took place late. Hence, little effect of the treatment was observed allowing *Brassica x chinensis* to overgrow the soybeans. Additionally, the relatively early sowing in 2007 and 2010 may have led to a comparatively faster development of *Brassica x chinensis* compared to the thermophile soybean which led to the imbalance of the species investigated in this experiment. As a result, the experiments were stopped and not harvested (Tab. 1). However in 2008 and 2009 good weather conditions allowed an early first weed regulation and as a consequence treatment effects were more pronounced.

#### 3.2 Impact of the tested machines on the soil cover of the soybeans and its yield

Comparable to the two model weed species also the soybeans were most affected by FI+WE. In contrast to the effect observed for the weed species, the effect in soybeans was already significant after the first intervention, reducing the soil cover by 21 % when compared to the control (Tab. 2). Nevertheless, this reduction did not affect the yield and even a significantly higher yield was obtained with FI+WE (2.91 t/ha) when compared to the control (2.49 t/ha). Yields were slightly higher in 2009 compared to 2008 reaching 2.86 t/ha and 2.59 t/ha, respectively.

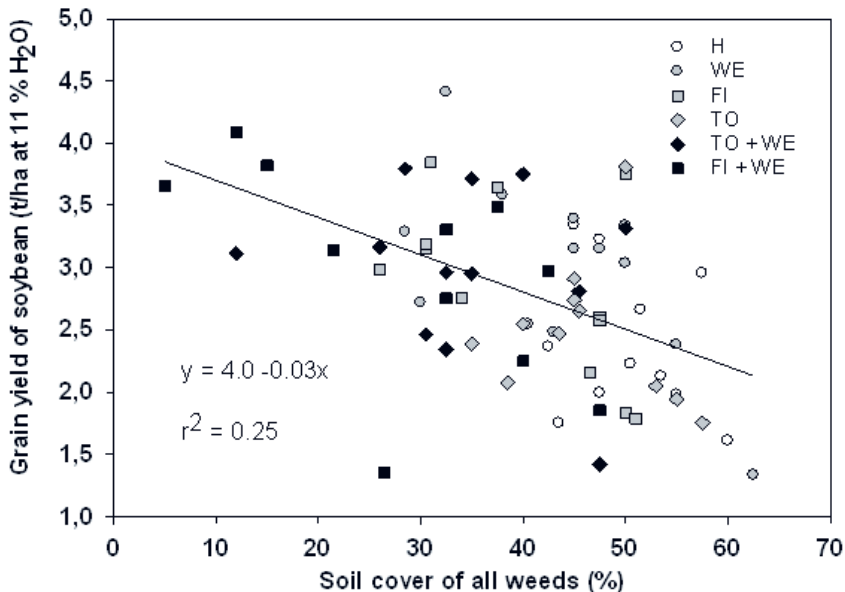
A significant negative correlation ( $r = -0.5$ ,  $p < 0.001$ ) between total weed soil cover (including also other monocotyledonous and dicotyledonous plant species) after the second intervention and soybean yield was observed (Fig. 1).

**Tab. 2** Means for soil cover (%) of *Brassica x chinensis* (B.), *Phacelia tanacetifolia* (P.) and the main crop *Glycine max* (G.) in the years 2007 to 2010 before the first (P.0, B.0, G.0), after the first (P.1, B.1, G.1) and after the second (P.2, B.2, G.2, only 2008 - 2010) intervention with a weeder harrow (WE), a finger hoe (FI), a torsion hoe (TO) or combinations thereof (FI+WE, TO+WE) in the surrounding of Zurich.

**Tab. 2** Mittelwerte der Bodenbedeckungsgrade (%) von *Brassica x chinensis* (B.), *Phacelia tanacetifolia* (P.) und der Hauptkultur *Glycine max* (G.) in den Jahren 2007 bis 2010 vor dem ersten (P.0, B.0, G.0), nach dem ersten (P.1, B.1, G.1) bzw. nach dem zweiten (P.2, B.2, G.2, nur 2008 – 2010) Eingriff mit einem Striegel (WE), einer Fingerhacke (FI), einer Torsionshacke (TO) oder Kombinationen davon (FI+WE, TO+WE) in der Umgebung von Zürich.

Treatment	Soil cover (%)								
	P.0	P.1	P.2	B.0	B.1	B.2	G.0	G.1	G.2
Control (H)	5.7	8.1	19.3	18.0	21.3	27.5	11.0	18.7	41.0
WE	5.4	6.7	14.1	18.0	21.0	28.0	11.2	17.4	37.9
FI	4.9	6.0	10.6	17.3	21.0	26.9	11.0	16.2	36.8
FI + WE	4.7	5.5	7.7	18.4	19.5	21.7	11.6	14.7	34.2
TO	5.0	6.1	13.9	19.0	23.0	27.0	10.4	17.3	39.0
TO + WE	4.9	5.9	9.8	17.0	19.6	24.0	10.6	16.4	35.9
SD <sup>1</sup>	0.35	0.92	4.09	0.72	1.24	2.49	0.41	1.36	2.41
Tukey HSD <sup>2</sup>	2.07	2.77	2.95	8.41	8.77	5.07	3.36	3.50	5.76

<sup>1</sup>SD = Standard deviation; <sup>2</sup>Tukey HSD at a 0.05 probability level.



**Fig. 1** Soybean yield (t/ha at 11 % humidity) and total soil cover (%) of all non-crop plant species after the second intervention with weeder harrow (WE), torsion hoe (TO), finger hoe (FI) or combinations thereof (TO + WE, FI + WE) in comparison to the control (H = hoeing in between the crop rows) in trials in the surrounding of Zurich (2008 – 2009).

**Abb. 1** Ertrag von Sojabohnen (t/ha bei 11 % Feuchtigkeit) und Bodenbedeckungsgrad (%) aller Begleitarten nach dem zweiten Eingriff mit Striegel (WE), Torsionshacke (TO), Fingerhacke (FI) oder Kombinationen davon (TO + WE, FI + WE) im Vergleich zur Kontrolle (H = Hacken zwischen den Reihen). Versuche der Jahre 2008 und 2009 in der Umgebung von Zürich.



## 4. Discussion

Reduction of weed soil cover was observed when TO or FI were applied alone, which is in line with the effects reported by ZILLGER et al. (2006). The effect was increased by the combination of either of the hoes with the weeder harrow (FI + WE or TO + WE) but became only significant after two applications. Though, the effect depended on the model weed species which may be a consequence of the higher competitiveness of *Brassica x chinensis* resulting in a more pronounced effect on *P. tanacetifolia* when compared to *Brassica x chinensis*. Other monocotyledonous and dicotyledonous plant species as well as volunteers were present in the trials but the weed pressure was mainly due to the sown (model) weed species (data not shown). As observed especially in the year 2008, small soybean plants ( $\leq$  BBCH 11) suffered more from the intervention applied than plants in a later growth stage. But since this was also the case for the weeds, the determination of the optimal time is crucial in order not to harm the soybean to a greater extent than the weeds. Thus weed control within and also between the crop row is promising if it is applied as early as possible (MÜCKE and MEYERCORDT, 2011; PROOST et al., 1998). However, ideal weather and soil conditions are necessary. Although soybeans may suffer from an early intervention, experiments showed that soybean yield is generally not negatively affected even with the most aggressive treatment investigated in this study. Although a fairly wide range for the grain yield of soybean within the different treatments was detected, the average yield level of the presented experiments is in line with the findings of other studies in southern Germany and the Alsace (VETTER and NAWRATH, 2001).

### 4.1 Conclusions

The combination of the finger hoe with the weeder harrow (FI+WE) is an effective mean to control weeds within the crop row without reducing the yield of soybean. The torsion hoe in combination with the weeder (TO+WE) also revealed good efficacy though being less distinct compared to the finger hoe in combination with the weeder (FI+WE). It can therefore be considered to use the combination TO+WE for the first intervention after emergence of the soybean and the more aggressive combination FI+WE for the following ones. As the timing of the mechanical control of weeds remains important for the success of any mechanical means, the risk of heavy weed infestation should be prevented by the selection of fields for the cropping of soybean with a low weed pressure. Soils with a serious amount of stones could also cause problems by damaging the combine at the time of the harvest, since every mechanical treatment moves the soil and stones are brought up to the surface. In order to allow farmers to use the best combination of weeding machines, special equipment is necessary (inter-axis-mounted hoe combined with a weeder at the rear) which can be costly and should therefore be used on larger farms or be shared by several farmers to reduce fix costs. Data from on-farm trials, different soils and various weed communities are needed in order to gain a broader data set allowing recommendations for various regions in Switzerland.

### Acknowledgements

The authors thank E. Uhlmann and F. Käser for their technical assistance and B. Schmid for statistical support.

### References

- IRLA, E., 1995: SOJA: BESTELLTECHNIK UND UNKRAUTBEKÄMPFUNGSVERFAHREN. GUTE ERTRÄGE MIT WENIGER ODER OHNE HERBIZIDE. FAT BERICHTE NR. **464**, 6.
- MÜCKE, M. AND A. MEYERCORDT, 2011: ÖKOLOGISCHER SOJABOHNENANBAU IN NIEDERSACHSEN 2009 UND 2010. VERSUCHSBERICHT. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, OLDENBURG.
- MUNGER, P., H. BLEIHOLDER, H. HACK, M. HESS, R. STAUSS, T. VAN DER BLOOM AND E. WEBER, 1997: PHENOLOGICAL GROWTH STAGES OF THE SOYBEAN PLANT (*GLYCINE MAX* (L.) MERR.) – CODIFICATION AND DESCRIPTION ACCORDING TO THE GENERAL BBCH SCALE – WITH FIGURES. JOURNAL OF AGRONOMY AND CROP SCIENCE **179**, 209-217.
- PROOST, R. T., K. SHELLY AND J. POSTLE, 1998: MECHANICAL WEED MANAGEMENT STRATEGIES. IN: PROTECTING WISCONSIN'S RESOURCES THROUGH INTEGRATED WEED MANAGEMENT, PP. 31-44. UNIVERSITY OF WISCONSIN-EXTENSION, COOPERATIVE EXTENSION.

R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007: R: A LANGUAGE AND ENVIRONMENT FOR STATISTICAL COMPUTING. R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING. VIENNA, AUSTRIA.

VETTER, R. AND M. NAWRATH, 2001: ANBAU- UND VERWERTUNGSSTRATEGIEN FÜR SOJABOHNEN UND WEISSE LUPINEN IM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES N-HAUSHALTS. ABSCHLUSSBERICHT ZUM PROJEKT 1.2.2, 163.

ZILLGER, C., M. DEHE, K. POSTWEILER AND S. HOOS, 2006: MECHANISCHE UNKRAUTBEKÄMPFUNG IM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU - ZWISCHENBERICHT 2005. PROJEKTBERICHT. DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM, RHEINHESSEN-NAHE-HUNSRÜCK.

## Lopsided oat (*Avena strigosa*) as a new summer annual cover crop for weed suppression in Central Europe

*Rauhafer (Avena strigosa) als neue Zwischenfrucht zur Unkrautunterdrückung in Mitteleuropa*

Jochen Brust\* & Roland Gerhards

University of Hohenheim, Institute of Phytomedicine, Otto-Sander-Straße 5, 70599 Stuttgart, Germany

\*Corresponding author, jochen.brust@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.032

### Summary

Lopsided oat (*Avena strigosa*) has been cultivated for many years, especially in Brazil, as a summer annual cover crop. Experiments were conducted in Stuttgart-Hohenheim in 2010 to estimate the capability of lopsided oat, yellow mustard (*Sinapis alba*), phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) and a cover crop mixture to suppress weeds and volunteer wheat. A pot experiment was conducted to analyze the emergence and growth of the different cover crop species. Twelve weeks after planting, lopsided oat produced 20.7 dt/ha of shoot- and 5.5 dt/ha of root dry matter. A field experiment was established in the summer after harvest of winter wheat. The soil was cultivated with a disc harrow and the cover crops were sown one day later. At four week intervals, the plant density and dry matter of cover crops, weeds and volunteer wheat were determined. Twelve weeks after planting, lopsided oat produced 17.8 dt/ha shoot- and 6.2 dt/ha root dry matter. In the lopsided oat plots, shoot dry matter of weeds and volunteer wheat were reduced by 98 % compared with control plots without cover crops. This was the highest weed reduction of all cover crops studied. The root dry matter of weeds and volunteer wheat was reduced by 55 % to 97 % in all cover crops, compared to the control plots. Lopsided oat reduced the plant density of weeds and volunteer wheat. While there were 54.5 plants/m<sup>2</sup> in the control plots, only 5.5 plants/m<sup>2</sup> were counted in the lopsided oat plots. The results showed that lopsided oat has a high potential for suppression of weeds and volunteer wheat in autumn. It also enlarges the number of cultivated cover crops in Central Europe.

**Keywords:** Competition, field experiment, pot experiment, root, shoot, volunteer wheat

### Zusammenfassung

Rauhafer (*Avena strigosa*) wird seit vielen Jahren vor allem in Brasilien als Zwischenfrucht angebaut. In Stuttgart-Hohenheim wurden 2010 Versuche durchgeführt, um die Eignung von Rauhafer, Gelbsenf (*Sinapis alba*), Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) und einer Zwischenfruchtmischung zur Unterdrückung von Unkräutern und Ausfallgetreide festzustellen. Ein Topfversuch wurde durchgeführt, um Auflaufen sowie Wachstum der Zwischenfrüchte zu bestimmen. Zwölf Wochen nach Aussaat bildete Rauhafer 20,7 dt/ha Spross- und 5,5 dt/ha Wurzel-Trockenmasse. Ein Feldversuch wurde nach erfolgter Winterweizenernte durchgeführt. Im Anschluss an eine ca. 5 cm tiefe Bodenbearbeitung mit einer Kurzscheibenegge wurden am folgenden Tag die Zwischenfrüchte gesät. Im Abstand von vier Wochen wurden Anzahl und Trockenmasse der Zwischenfrüchte, der Unkräuter sowie des Ausfallgetreides bestimmt. Zwölf Wochen nach Aussaat bildete Rauhafer 17,8 dt/ha Spross- und 6,2 dt/ha Wurzel-Trockenmasse. Die Spross-Trockenmasse der Unkräuter und des Ausfallgetreides konnte durch Rauhafer signifikant um 98 %, verglichen mit einer Kontrolle ohne Zwischenfrucht, reduziert werden. Dies war der höchste Wert aller Zwischenfrüchte. Die Wurzel-Trockenmasse von Unkräutern und Ausfallgetreide wurde von den Zwischenfrüchten durchschnittlich um 55 % bis 97 % reduziert. Rauhafer reduzierte die Anzahl an Unkräutern und Ausfallgetreide. Während 54,5 Pflanzen/m<sup>2</sup> in den Kontrollparzellen wuchsen, waren es 5,5 Pflanzen/m<sup>2</sup> bei Rauhafer. Im Rahmen des Feldversuches konnte gezeigt werden, dass Rauhafer sehr gut Unkräuter sowie Ausfallgetreide zu unterdrücken vermag. Er stellt eine Bereicherung des bisherigen Spektrums an Zwischenfrüchten in Mitteleuropa dar.

**Stichwörter:** Ausfallgetreide, Feldversuch, Konkurrenz, Spross, Topfversuch, Wurzel

### 1. Introduction

Cover crops influence the agricultural ecosystem in many positive ways; soil protection from wind and water erosion (PARLAK and PARLAK, 2010; DE BAETS et al., 2011), reduction of nutrients leaching (especially nitrate) to groundwater (LOGSDON et al., 2002) and an increase of soil organic matter (LIU et al., 2005), among others. Another important reason for the cultivation of cover crops is its weed suppressive capability.

Cover crops are able to completely suppress weeds through direct competition for water, nutrients and light (AKEMO et al., 2000; LAWLEY et al., 2011). Cover crops require a fast growing capability to generate an early shading effect in order to successfully suppress weeds (BRENNAN and SMITH, 2005; KRUIDHOF et al., 2008; UCHINO et al., 2011). Contemporary research on competition between weeds and cover crops focuses on above ground dry matter of cover crops as a reference point for competitiveness only (LINARES et al., 2008). Additionally, cover crops must have a well developed root system to ensure a strong below-ground competitiveness for water and nutrients, thus enhancing the above-ground competitive capability for light (FOFANA and RAUBER, 2000). All these characteristics are needed to effectively and sustainably suppress weeds using cover crops.

During the last decade, only a few plant species have been cultivated as cover crops in Germany. Especially yellow mustard (*Sinapis alba*) has been grown because of its capability to reduce the nematode population in crop rotations with sugar beet (*Beta vulgaris*) (SMITH et al., 2004), reduction of nitrate leaching (WYLAND et al., 1996) and good weed suppression (BECKIE et al., 2008). The second important cover crop in Germany is phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), because it is not related to any crop in Germany and therefore no host for important plant diseases. Phacelia is mainly used in crop rotations with canola (*Brassica napus*) and is also able to prevent nitrate leaching and weed growth (STIVERS-YOUNG, 1998). An increasing number of farmers use cover crop mixtures for weed suppression. Cover crop mixtures achieve a higher weed control compared to a monoculture cover crop due to enhanced dry matter production and extended shading (AKEMO, 2000; LINARES et al., 2008). Lopsided oat (*Avena strigosa*) is an important cover crop in southern Brazil due to its fast growth and strong capability to suppress weeds (PRINCE et al., 2006; FONTANELI et al., 2009). However, limited information is available on the potential of lopsided oat as a cover crop in Germany. The objective of this study was to compare lopsided oat with current summer cover crops regarding their dry matter production and weed suppression capability.

## 2. Materials and methods

A pot and a field experiment were conducted with the same sowing density for four cover crop treatments. Three cover crops were sown as monoculture: lopsided oat (*Avena strigosa* Schreb. cv. *Pratex*) at a seed density of 100.0 kg/ha, yellow mustard (*Sinapis alba* L. cv. *Accent*) with a density of 12.7 kg/ha and phacelia (*Phacelia tanacetifolia* Benth cv. *Angelica*) at a density of 10.3 kg/ha. A cover crop mixture consisting of beerseem clover (*Trifolium alexandrinum*), common vetch (*Vicia sativa*), tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) and niger seed (*Guizotia abyssinica*) was sown as an additional treatment at a seed density of 50.0 kg/ha.

### 2.1 Pot experiment

The pot experiment was conducted from August until November 2010 at the Institute of Phytomedicine in Stuttgart-Hohenheim. The pots used had a size of 20 by 20 cm and a height of 25 cm. The substrate used was a clay loamy soil from the topsoil of a winter barley field at the research station 'Ihinger Hof', with an  $N_{\min}$  content of 10.7 kg N/ha. The soil was crushed before filling the pots. No additional fertilizer was added. Every pot was irrigated with two dripper stakes from a 4-way multi-outlet dripper irrigation system. A randomized complete block design with four replications was used. The cover crops were sown on August 12<sup>th</sup> at a depth of 2 cm. Seedling emergence was counted five and ten days after planting (DAP). Dry matter of shoot and roots were measured four, eight and twelve weeks after planting (WAP). At harvest, the roots were cleaned from soil with water and subsequently separated from the shoot. Next, the plant material was dried for three days at 80 °C.

### 2.2 Field experiment

The field experiment was conducted from August until November 2010 at the research station 'Ihinger Hof', which is located 30 km southwest of Stuttgart. Soil type at the experimental site was Haplic Luvisol with clay loam as soil texture at the topsoil. The  $N_{\min}$  content of the topsoil was 17.6 kg N/ha. No additional fertilizer was added to see how the cover crops manage low nitrogen content. A randomized complete block design with four replications was used. Each plot was 2.0 by 20 m. After

harvesting the preceding winter wheat the straw was removed. The following day, a 5 cm deep tillage was conducted with a disc harrow. Cover crops were seeded on August 21<sup>st</sup> using a plot seeder with double disk openers, at a row spacing of 11 cm and a sowing depth of 2 cm. Seedling emergence was counted five, seven and ten DAP. Plant samples were taken four, eight and twelve WAP from an area of 0.5 m<sup>2</sup>. At each sampling date, shoot and root dry matter and the plant density of cover crops, weeds and volunteer wheat were measured. After harvesting, the roots were cleaned and separated from the shoots; the plants were dried for three days at 80 °C. The data was analyzed with the software 'SPSS Version 15.0' (SPSS Inc.). All data was tested using the Shapiro-Wilk test for normality and the Levene-test for homogeneity of variance. Following the analysis of variance (Univariate procedure), multiple comparison tests were performed using the Tukey-test at a significance level of  $\alpha = 0.05$ .

### 3. Results

Climatic conditions during the growing season 2010 were very similar at both locations (Tab. 1). In August, the climate slightly differed from the longtime average. September and October were characterized by cool weather that inhibited the cover crop growth. At 'lhinger Hof', the average air temperature in September and October was 0.9 °C below the longtime average.

**Tab. 1** Monthly and longtime monthly (ltm.) average temperature and precipitation during the growing season 2010.

**Tab. 1** *Monatliche sowie langjährige Monatsmittelwerte (ltm.) von Temperatur und Niederschlag während der Versuchsdauer.*

	Air temp. (°C)				Precipitation (mm)			
	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
Hohenheim 2010	17.5	12.9	8.3	5.5	82.1	50.6	24.8	62.3
Hohenheim ltm.-average	17.1	14.0	9.3	3.9	79.3	56.5	43.4	54.9
lhinger Hof 2010	16.4	12.1	7.8	4.6	80.5	43.5	42.0	76.5
lhinger Hof ltm.-average	16.8	13.0	8.7	3.6	81.0	54.0	54.0	51.0

#### 3.1 Pot experiment

Five DAP, lopsided oat showed no different seedling emergence than phacelia or the cover crop mixture (Tab. 2). Five DAP, only yellow mustard had a significantly higher seedling emergence than lopsided oat. Ten DAP, there were no differences in seedling emergence among the cover crops.

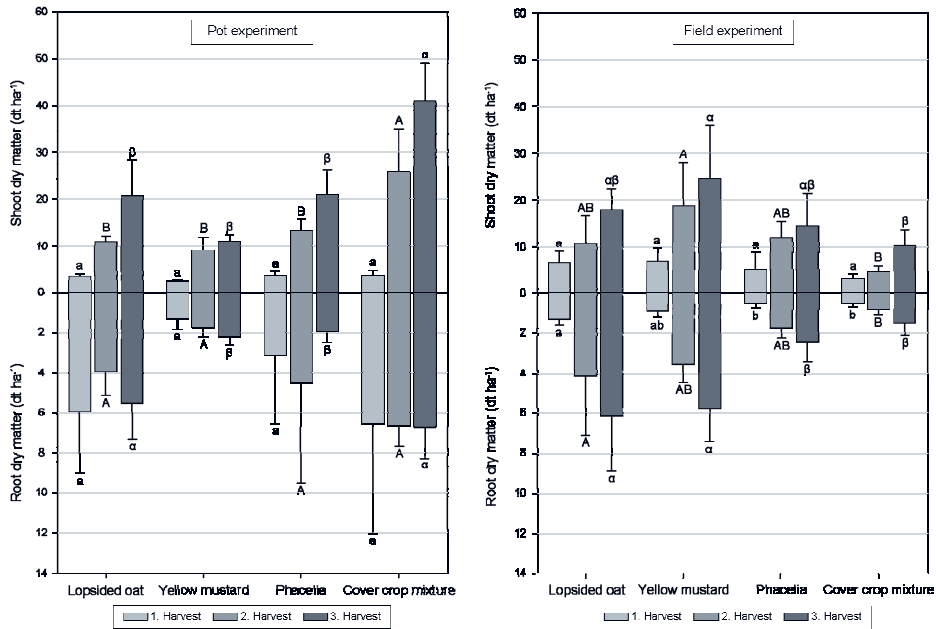
**Tab. 2** Seedling emergence of cover crops during the pot experiment.

**Tab. 2** *Feldaufgang der Zwischenfrüchte während des Topfversuches.*

	Lopsided oat		Yellow mustard		Phacelia		Cover crop mixture	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
5 DAP	72.9 b <sup>2</sup>	11.1	93.8 a	14.4	75.3 b	19.3	65.2 b	15.7
10 DAP	97.5 a	4.7	98.5 a	5.2	98.5 a	4.8	98.9 a	3.1

<sup>2</sup>Means within the same row followed by an identical letter do not differ statistically based on the Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ).

At the first harvesting date four WAP, shoot dry matter was the same for all cover crops (Fig. 1). At eight WAP, the cover crop mixture produced the significantly highest shoot dry matter with 25.6 dt/ha. With a shoot dry matter of 10.8 dt/ha, lopsided oat did not differ from yellow mustard and phacelia. At twelve WAP, the cover crop mixture accumulated the highest shoot dry matter, namely 41.0 dt/ha. Lopsided oat built 20.7 dt/ha shoot dry matter in the same time period, which did not differ from yellow mustard and phacelia. The root dry matter among cover crops was similar at four and eight WAP. Twelve WAP, lopsided oat accumulated 5.5 dt/ha of root dry matter, being significantly higher than that accumulated by yellow mustard and phacelia.



**Fig. 1** Shoot and root dry matter of cover crops at three harvest dates in the pot (left) and in the field experiment (right). Columns are mean values. Vertical bars represent the standard errors. Means with the same letter were not significantly different at  $\alpha = 0.05$ .

**Abb. 1** Spross- sowie Wurzeltrockenmasse der Zwischenfrüchte im Feldversuch, in Abhängigkeit des Erntetermines beim Topf- (links) und Feldversuch (rechts). Mittelwerte, welche mit demselben Buchstaben versehen sind, weisen bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  keine signifikante Differenz auf. Die Fehlerbalken stellen jeweils die Standardabweichung der Messwerte dar.

### 3.2 Field experiment

At five DAP, lopsided oat showed the lowest seedling emergence (Tab. 3). However, two days later, no differences could be found among cover crops. Again three days later, the highest seedling emergence of all cover crops was observed for lopsided oat (90.1 %), although this was not significantly higher than for other cover crops.

Tab. 3 Seedling emergence of cover crops in the field experiment.

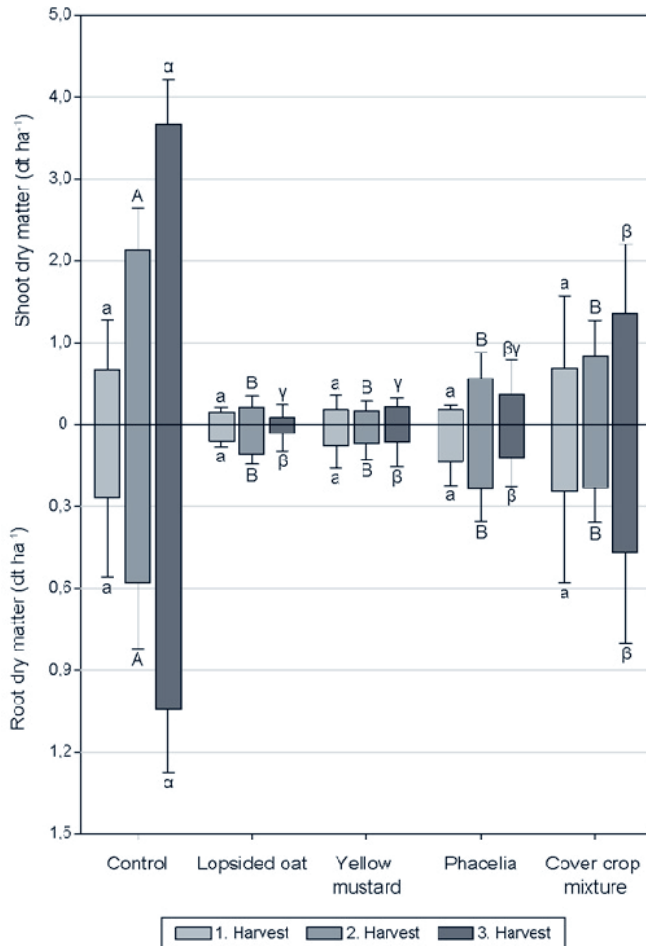
Tab. 3 Felddaufgang der Zwischenfrüchte während des Feldversuches.

	Lopsided oat		Yellow mustard		Phacelia		Cover crop mixture	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
5 DAP	0.7 c <sup>2</sup>	1.4	27.1 a	5.5	12.2 bc	8.6	16.9 ab	4.4
7 DAP	78.0 a	13.0	71.7 a	27.1	73.4 a	11.4	82.2 a	11.3
10 DAP	90.1 a	13.9	79.9 a	27.1	85.9 a	20.8	84.5 a	6.6

<sup>2</sup> Means within the same row followed by an identical letter do not differ statistically based on the Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ).

At every harvest date, yellow mustard had the highest shoot dry matter (Fig. 1). From the second harvest (eight WAP) onward, only the amounts of shoot dry matter of yellow mustard and the cover crop mixture were significantly different. At the third harvest date (twelve WAP), yellow mustard accumulated 24.6 dt/ha of shoot dry matter, which was 14.3 dt/ha more than the cover crop mixture. Lopsided oat built 17.8 dt/ha shoot dry matter in the same time period. At all three sampling dates, lopsided oat showed the highest root dry matter. Eight WAP, lopsided oat accumulated 4.2 dt/ha root dry matter, which was significantly higher than for the cover crop mixture. Until twelve WAP, lopsided

oat build 6.2 dt/ha of root dry matter. This was a significantly higher value compared with phacelia and the cover crop mixture, but not with yellow mustard.



**Fig. 2** Shoot and root dry matter of weeds and volunteer wheat at the three harvest dates. Columns are mean values. Vertical bars represent the standard errors. Means with the same letter were not significantly different at  $\alpha \leq 0.05$ .

**Abb. 2** Spross- sowie Wurzel-trockenmasse von Unkräutern sowie Ausfallgetreide in Abhängigkeit des Erntetermins. Mittelwerte, welche mit demselben Buchstaben versehen sind, weisen bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha \leq 0,05$  keine signifikante Differenz auf. Die Fehlerbalken stellen jeweils die Standardabweichung der Messwerte dar.

The weed community was dominated by volunteer wheat (*Triticum aestivum*), common chickweed (*Stellaria media*), red deadnettle (*Lamium purpureum*) and persian speedwell (*Veronica persica*). Four WAP, the shoot and root dry matter of weeds and volunteer wheat did not differ between the control and cover crops (Fig. 2), but eight WAP they were significantly lower in cover crop plots than in the control. However, no difference was found among the cover crops. Twelve WAP, weeds and volunteer wheat built 3.67 dt/ha of shoot dry matter in the control plots, while they built 0.08 dt/ha in the lopsided oat plots, which corresponds to a 98 % reduction. Twelve WAP, thanks to lopsided oat, the root dry matter of weeds and volunteer wheat was reduced by 97 %, from 1.04 to 0.03 dt/ha. This was superior to the cover crop mixture, which reduced the root dry matter by 55 %.

The plant density of weeds and volunteer wheat four and eight WAP was not significantly different between control pots and the cover crops (Tab. 4). Lopsided oat, yellow mustard and phacelia could effectively reduce the number of weeds and volunteer wheat twelve WAP. While 54.5 plants/m<sup>2</sup> were counted in the control plots, there were only 5.5 plants/m<sup>2</sup> in the lopsided oat plots, which represents a weed reduction of 90 %.

**Tab. 4** Effect of cover crop treatments and harvest date on weed- and volunteer wheat density.

**Tab. 4** Einfluss der Zwischenfrüchte sowie des Erntezeitpunktes auf die Anzahl an Unkräuter und Ausfallgeteide.

Treatment	4 WAP		8 WAP		12 WAP	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Control	72.5 a <sup>2</sup>	62.4	66.5 a	26.8	54.5 a	13.0
Lopsided oat	18.5 a	5.3	17.0 a	6.6	5.5 c	11.0
Yellow mustard	21.0 a	22.2	15.5 a	13.3	10.0 bc	16.3
Phacelia	25.0 a	7.4	39.0 a	23.5	11.0 bc	12.8
Cover crop mixture	68.5 a	82.8	78.5 a	78.7	44.0 ab	28.6

<sup>2</sup> Means within the same row followed by an identical letter do not differ statistically based on the Tukey test ( $\alpha \leq 0.05$ ).

#### 4. Discussion

Results from the pot and the field experiment show that lopsided oat has a slower seedling emergence compared to yellow mustard and phacelia. One of the reasons for this observation is the higher seed weight of lopsided oat. The time required for germination increases with seed size, because larger seeds need more water to germinate (HÅKANSSON et al., 2011). Differences among cover crop species could be clearly identified in the field experiment. Due to the rough soil structure, the seeds could not easily absorb the required water for germination. However, ten DAP there was no difference between lopsided oat and the other cover crops. This may be explained by the higher growth rate of larger seeds due to their higher energy content, once they obtain the required water amount for germinating (HÅKANSSON et al., 2011).

Lopsided oat never had a significantly lower shoot dry matter than yellow mustard or phacelia. The only occurrence of higher shoot dry matter of the cover crop mixture was observed in the pot experiment. Twelve WAP, lopsided oat produced 20.7 dt/ha of shoot dry matter in the pot experiment and 17.8 dt/ha in the field experiment. Higher values are reported by BAUER and REEVES (1999) with 29.8 dt/ha in South Carolina and by PRINCE et al. (2006) with 27.7 dt/ha in Alabama. Yellow mustard showed the highest shoot dry matter at each of the three sampling dates. This observation is consistent with results by BRENNAN and SMITH (2005), who reported a higher shoot dry matter for yellow mustard than for legumes or oat. However, our results show lower values than experiments conducted by other authors. Within a three month period, yellow mustard has the capability to produce a four times higher shoot dry matter than observed in our experiment (BRENNAN and SMITH, 2005; ALCÁNTARA et al., 2011). A reason for the low dry matter production in our experiments was the cool autumn weather in 2010.

Root dry matter of lopsided oat was similar in the pot and field experiments. At every harvest date in the field experiment, lopsided oat had the highest amount of root dry matter. Similar results were reported by FRANCHINI et al. (2004), who compared lopsided oat with nine other cereal- and legume cover crops. Lopsided oat was able to reduce the shoot dry matter of weeds and volunteer wheat by up to 98 %. The measured values of weed reduction are not uncommon. Our results agree with other studies showing a weed dry matter reduction of more than 90 % (CREAMER and BALDWIN, 2000; PRINCE et al., 2006). Lopsided oat reduced root dry matter of weeds and volunteer wheat by 97 %. Perhaps, the good weed suppressing capability is an effect of the well developed root system that makes a successful competition for nutrients and water possible. The importance of a well developed root system to suppress weeds has been shown by FOFANA and RAUBER (2000), who observed a negative correlation between root growth of rice and weed dry matter.



Because of its low dry matter production, the cover crop mixture reduced weeds significantly less than lopsided oat or yellow mustard. This is consistent with field experiments from LINARES et al. (2008), who showed that increased dry matter production raised the capability of cover crops to suppress weeds. The low dry matter production in our results of the cover crop mixture might be due to the low temperature during the field experiment. Common vetch, beerseed clover and especially niger seed, which were three of the four plant species in the cover crop mixture, have a reduced growth under cool autumn weather. Niger seeds need temperatures between 15 °C and 23 °C for good growth (GETINET and SHARMA, 1996), but these were never reached during the field experiment.

Lopsided oat, yellow mustard and phacelia were able to reduce plant density of weeds and volunteer wheat by up to 90 %. These results correspond to those of KOBAYASHI et al. (2004) who also found a weed density reduction of more than 90 %. This may be an effect of the change in composition of the light that reaches the weed seeds (KRUK et al., 2006). Due to a selective absorption by photosynthetic plant tissue, the ratio of red to infrared light is reduced during its passage through the cover crops. If this light reached germinable weed seeds near the soil surface, they would not germinate (BALLARÉ and CASAL, 2000; BATILLA et al., 2000).

Although our results are only from a one-year period, it can be assumed that lopsided oat could be successfully grown as a cover crop in Central Europe. This species has the same capability for suppression of weeds and volunteer wheat like yellow mustard or phacelia. Furthermore, lopsided oat has a well developed root system that enhances its competitiveness.

## References

- AKEMO, M.C., E.E. REGNIER AND M.A. BENNETT, 2000: WEED SUPPRESSION IN SPRING-SOWN RYE (*SECALE CEREALE*)-PEA (*PISUM SATIVUM*) COVER CROP MIXES. *WEED TECHNOLOGY* **14**, 545-549.
- ALCANTARA, C., A. PUJADAS AND M. SAAVEDRA, 2011: MANAGEMENT OF CRUCIFEROUS COVER CROPS BY MOWING FOR SOIL AND WATER CONSERVATION IN SOUTHERN SPAIN. *AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT* **98**, 1071-1080.
- BAETS DE, S., J. POESEN, J. MEERSMANS AND L. SERLET, 2011: COVER CROPS AND THEIR EROSION-REDUCING EFFECTS DURING CONCENTRATED FLOW EROSION. *CATENA* **85**, 237-244.
- BALLARÉ, C.L. AND J.J. CASAL, 2000: LIGHT SIGNALS PERCEIVED BY CROP AND WEED PLANTS. *FIELD CROPS RESEARCH* **67**, 149-160.
- BATLLA, D., B.C. KRUK AND R.L. BENECH-ARNOLD, 2000: VERY EARLY DETECTION OF CANOPY PRESENCE BY SEEDS THROUGH PERCEPTION OF SUBTLE MODIFICATIONS IN RED: FAR RED SIGNALS. *FUNCTIONAL ECOLOGY* **14**, 195-202.
- BAUER, P.J. AND D.W. REEVES, 1999: A COMPARISON OF WINTER CEREAL SPECIES AND PLANTING DATES AS RESIDUE COVER FOR COTTON GROWN WITH CONSERVATION TILLAGE. *CROP SCIENCE* **39**, 1824-1830.
- BECKIE, H.J., E.N. JOHNSON, R.E. BLACKSHAW AND Y. GAN, 2008: WEED SUPPRESSION BY CANOLA AND MUSTARD CULTIVARS. *WEED TECHNOLOGY* **22**, 182-185.
- BRENNAN, E.B. AND R.F. SMITH, 2005: WINTER COVER CROP GROWTH AND WEED SUPPRESSION ON THE CENTRAL COAST OF CALIFORNIA. *WEED TECHNOLOGY* **19**, 1017-1024.
- CREAMER, N.G. AND K.R. BALDWIN, 2000: AN EVALUATION OF SUMMER COVER CROPS FOR USE IN VEGETABLE PRODUCTION SYSTEMS IN NORTH CAROLINA. *HORTSCIENCE* **35**, 600-603.
- FOFANA, B. AND R. RAUBER, 2000: WEED SUPPRESSION ABILITY OF UPLAND RICE UNDER LOW-INPUT CONDITIONS IN WEST AFRICA. *WEED RESEARCH* **40**, 271-280.
- FONTANELI, R.S., A. FAGANELLO, A. SATTLER AND L. VARGAS, 2009: BLACK OAT MANAGEMENT METHODS TO AVOID ITS RESURGENCE AS WEED PLANT IN WHEAT. *CIÊNCIA RURAL* **39**, 1983-1988.
- FRANCHINI, J. C., A. P. PAVAN AND M. MIYAZAWA, 2004: REDISTRIBUTION OF PHOSPHORUS IN SOIL THROUGH COVER CROP ROOTS. *BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY* **47**, 381-386.
- GETINET, A. AND A.M. SHARMA, 1996: NIGER. *GUIZOTIA ABYSSINICA* (L.F.) CASS. INTERNATIONAL PLANT GENETIC RESOURCES INSTITUTE, ROME.
- HÅKANSSON, I., J. ARVIDSSON, T. KELLER AND T. RYDBERG, 2011: EFFECTS OF SEEDBED PROPERTIES ON CROP EMERGENCE: 1. TEMPORAL EFFECTS OF TEMPERATURE AND SOWING DEPTH IN SEEDBEDS WITH FAVOURABLE PROPERTIES. *ACTA AGRICULTURAE SCANDINAVICA*, SECTION B - SOIL & PLANT SCIENCE **61**, 458-468.
- KOBAYASHI, H., S. MIURA AND A. OYANAGI, 2004: EFFECTS OF WINTER BARLEY AS A COVER CROP ON THE WEED VEGETATION IN A NO-TILLAGE SOYBEAN. *WEED BIOLOGY AND MANAGEMENT* **4**, 195-205.
- KRUIDHOF, H.M., L. BASTIAANS AND M.J. KROPFF, 2008: ECOLOGICAL WEED MANAGEMENT BY COVER CROPPING: EFFECTS ON WEED GROWTH IN AUTUMN AND WEED ESTABLISHMENT IN SPRING. *WEED RESEARCH* **48**, 492-502.
- KRUK, B., P. INSAUSTI, A. RAZUL AND R.L. BENECH-ARNOLD, 2006: LIGHT AND THERMAL ENVIRONMENTS AS MODIFIED BY A WHEAT CROP: EFFECTS ON WEED SEED GERMINATION. *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY* **43**, 227-236.

- LAWLEY, Y.E., R.R. WEIL AND J.R. TEASDALE, 2011: FORAGE RADISH COVER CROP SUPPRESSES WINTER ANNUAL WEEDS IN FALL AND BEFORE CORN PLANTING. *AGRONOMY JOURNAL* **103**, 137-144.
- LINARES, J., J. SCHOLBERG, K. BOOTE, C.A. CHASE, J.J. FERGUSON AND R. MCSORLEY, 2008: USE OF THE COVER CROP WEED INDEX TO EVALUATE WEED SUPPRESSION BY COVER CROPS IN ORGANIC CITRUS ORCHARDS. *HORTSCIENCE* **43**, 27-34.
- LIU, A., B.L. MA AND A.A. BOMKE, 2005: EFFECTS OF COVER CROPS ON SOIL AGGREGATE STABILITY, TOTAL ORGANIC CARBON, AND POLYSACCHARIDES. *SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA JOURNAL* **69**, 2041-2048.
- LOGSDON, S.D., T.C. KASPAR, D.W. MEEK AND J.H. PRUEGER, 2002: NITRATE LEACHING AS INFLUENCED BY COVER CROPS IN LARGE SOIL MONOLITHS. *AGRONOMY JOURNAL* **94**, 807-814.
- PARLAK, M. AND A.Ö. PARLAK, 2010: MEASUREMENT OF SPLASH EROSION IN DIFFERENT COVER CROPS. *TURKISH JOURNAL OF FIELD CROPS* **15**, 169-173.
- PRICE, A.J., D.W. REEVES AND M.G. PATTERSON, 2006: EVALUATION OF WEED CONTROL PROVIDED BY THREE WINTER CEREALS IN CONSERVATION-TILLAGE SOYBEAN. *RENEWABLE AGRICULTURE AND FOOD SYSTEMS* **21**, 159-164.
- SMITH, H.J., F.A. GRAY AND D.W. KOCH, 2004: REPRODUCTION OF *HETERODERA SCHACHTII* SCHMIDT ON RESISTANT MUSTARD, RADISH, AND SUGAR BEET CULTIVARS. *JOURNAL OF NEMATOLOGY* **36**, 123-130.
- STIVERS-YOUNG, L., 1998: GROWTH, NITROGEN ACCUMULATION, AND WEED SUPPRESSION BY FALL COVER CROPS FOLLOWING EARLY HARVEST OF VEGETABLES. *HORTSCIENCE* **33**, 60-63.
- WYLAND, L.J., L.E. JACKSON, W.E. CHANEY, K. KLONSKY, S.T. KOIKE AND B. KIMPLE, 1996: WINTER COVER CROPS IN A VEGETABLE CROPPING SYSTEM: IMPACTS ON NITRATE LEACHING, SOIL WATER, CROP YIELD, PESTS AND MANAGEMENT COSTS. *AGRICULTURE, ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* **59**, 1-17.
- UCHINO, H., K. IWAMA, Y. JITSUYAMA, K. ICHIYAMA, E. SUGIURA AND T. YUDATE, 2011: STABLE CHARACTERISTICS OF COVER CROPS FOR WEED SUPPRESSION IN ORGANIC FARMING SYSTEMS. *PLANT PRODUCTION SCIENCE* **14**, 75-85.

## Weed seed predation in organic and conventional cereal fields

*Samenfraß in Getreide auf ökologisch und konventionell bewirtschafteten Feldern*

Daniel Daedlow, Tabea Sommer & Paula R. Westerman\*

Professur Phytomedizin, Agrar- und umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock

Satower Str. 48, 18051 Rostock, Germany

\*Corresponding author, paula.westerman@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.033

### Summary

Granivores can consume a large proportion of newly produced weed seeds in crop fields each year. If substantial, granivores can help to exhaust the seed bank and thus contribute to long-term weed control. In northern Germany, however, annual seed losses tend to be smaller and granivore density lower than elsewhere. To investigate if high land-use intensity could be involved, seed predation rates were measured using *Lolium multiflorum* Lam. as a model seed in three organic and three conventional cereal fields located close to each other. In addition, seed predation was measured at different distances from the field edge and enclosure cages were used to determine the relative contributions of vertebrates and invertebrates to seed consumption.

As expected for cereal crops, seed predation rates increased from early spring to early summer and then decreased again. Seed predation by invertebrates was comparable to that in other studies, but seed predation by vertebrates, mainly rodents, was much lower, suggesting that low seed predation rates in northern Germany may have been caused by lower mouse activity, concurring with low mouse density. Results with regard to the effect of distance to the field edge were variable and difficult to interpret. Observed responses may be linked to predator identity, with rodents foraging preferentially near field edges, and invertebrates away from field edges or indifferently. Farming system (organic vs. conventional) had little or no effect on seed predation rates.

Reasons for the low density of seed predators and low seed predation rates observed are unknown, but it is likely that some unidentified detrimental factor is involved in the organic fields or the impoverished landscape as a whole.

**Keywords:** Biological weed control, carabid beetles, distance to field edge, farming system, mice

### Zusammenfassung

Samenfraß durch Granivoren kann zu hohem Verlust neuproduzierter Unkrautsamen führen. Falls dies in beträchtlichem Maße geschieht, verringert Samenfraß den Samenbankeintrag substantiell und trägt damit zur langfristigen Unkrautregulierung bei. In Norddeutschland scheinen die jährlichen Samenverluste und die Prädatorendichten jedoch geringer zu sein als anderenorts. Um zu untersuchen, ob die hohe Landnutzungsintensität hierfür ursächlich sein könnte, wurden Samenfraßraten unter Nutzung von *Lolium multiflorum* Lam. als Modellsamen auf drei ökologisch und drei konventionell bewirtschafteten, räumlich nah beieinander liegenden Getreidefeldern ermittelt. Darüber hinaus wurde der Samenfraß in unterschiedlichen Abständen zum Feldrand erfasst. Ausschlusskäfige wurden genutzt, um zwischen dem Samenfraß durch Vertebraten und Invertebraten unterscheiden zu können.

Wie im Getreideanbau zu erwarten, stieg die Samenfraßrate vom Frühling bis zum Sommer an und sank dann wieder. Der Samenfraß durch Invertebraten war vergleichbar mit dem anderer Studien. Die Samenpräda­tion durch Vertebraten, hier hauptsächlich Nagetiere, war hingegen deutlich niedriger, ebenso die erfasste Aktivitätsdichte. Die zu beobachtenden niedrigen Samenfraßraten in Norddeutschland könnten demnach durch niedrige Vertebraten-Aktivitätsdichten beeinflusst sein. Die Ergebnisse bezüglich der Wirkung des Feldrandabstands waren unterschiedlich und schwer zu interpretieren. Die beobachteten Unterschiede könnten mit der Prädatorenart zusammenhängen, da Nagetiere bei der Nahrungssuche Feldränder und Invertebraten mehr die Feldmitte bevorzugen oder überall zu finden sind. Die Bewirtschaftungsform (ökologisch vs. konventionell) hatte wenig oder keinen Einfluss auf die Samenfraßraten.

Die Gründe für die beobachteten geringen Samenprädatorendichten und Samenfraßraten sind unbekannt, aber es ist wahrscheinlich, das gegenteilig wirkende Einflüsse auf den ökologischen Feldern oder die verarmte Landschaft als Ganzes als Ursache in Frage kommen.

**Stichwörter:** Abstand zum Feldrand, Bewirtschaftungsformen, Biologische Unkrautbekämpfung, Laufkäfer, Mäuse

## 1. Introduction

In many countries, granivores, such as birds, rodents, carabid beetles, crickets and harvester ants, consume a large proportion of the newly produced weed seeds in crop fields each year. Provided that losses are substantial (e.g. > 25-50 % per year; e.g. FIRBANK and WATKINSON, 1986), seed predators can help to exhaust the seed bank and thus contribute to weed control. Estimates of annual weed seed losses due to predation typically range from 50 to 90 % (e.g. WESTERMAN et al., 2003; HEGGENSTALLER et al., 2006; BARAIBAR et al., 2009), which corresponds to the efficiency of an herbicide application. However, preliminary data indicate that in Mecklenburg-Vorpommern in Germany, seed losses are much smaller (25-44 %) than in any other region tested so far (DAEDLOW, 2007; BARAIBAR et al., in press). Densities of granivores, such as carabid beetles and granivorous rodents, tend to be low as well (BARAIBAR et al., in press).

Crop management in Mecklenburg-Vorpommern is generally intense. Average field size is 75 ha with little or no non-crop vegetation between fields. The typical oilseed rape - winter wheat - winter barley or winter wheat rotation is short and without much crop diversity. Treatment indices for herbicides, fungicides, insecticides, growth regulators are high, namely in oil seed rape 1.7, 0.9, 2.5 and 1.0, respectively, and in winter wheat 1.9, 2.0, 1.1, and 1.0, respectively (ANONYMUS, 2009). Tillage intensity is high, involving yearly operations with chisel and mouldboard plough. It is likely that one or more of these factors are responsible for the observed low predation rates and low densities of granivores, but it is unknown which. In this study, seed predation rate was measured in three organic and three conventional cereal fields at different distance from the field edge. The null hypothesis was that farming system (organic versus conventional) and the vicinity of field edge vegetation would have no effect on predation rate (% seeds/week). In addition, selective exclusion was used to determine the relative contributions of vertebrates and invertebrates to seed consumption.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Experimental design

Trials involved five temporal replications from 6 May to 8 July 2011 on six cereal fields near Rostock Mecklenburg-Vorpommern, northern Germany. The climate is influenced by the Baltic Sea; hence it has milder autumns and colder springs compared with other areas at the same geographical latitude. Average annual temperature is 8.4 °C (2011: 9.3 °C) and average annual rainfall is 591 mm (2011: 732 mm), (ANONYMUS, 2011). Weather conditions during the experiment were typical except for very high precipitation from 8 June onward (cumulative amount of rainfall 2-9 June 36 mm; 17-25 June 34 mm; 1-8 July 40 mm).

Predation was measured in three organically (fields 1, 2 and 3) and three conventionally (fields 4, 5 and 6) managed fields which were at least 2 km away from each other. All fields were sown with winter wheat (*Triticum aestivum* L.) except field 1, which was sown with spelt (*Triticum aestivum* subsp. *spelta* L.). The preceding crop on the organic fields was peas (field 1), potatoes (field 2), and a grass-clover mixture (field 3). On the conventional fields, the preceding crop was winter oilseed rape (field 4), winter wheat (field 5), and potatoes (field 6). In the organic fields the crop rotation also included barley, rye, oats and lupines. Field size was approx. 75 ha, similar to the average size of fields in the region. All fields had at least one field edge next to areas with natural ground vegetation, shrubs and trees.

*Lolium multiflorum* Lam. seeds ( $4.22 \pm 0.03$  mg/seed; mean  $\pm$  SE) were exposed to predators for seven days each 14 days. This species was chosen because of its demonstrated palatability to vertebrate and invertebrate seed predators (BARAIBAR et al., 2009).

Per field, an area of 100 x 100 m was selected adjacent to natural vegetation. Seed predation was measured using a regular grid of six rows and six columns of seed cards, 20 m apart, prepared after WESTERMAN et al. (2003). Half of the cards were covered by vertebrate enclosure cages (mesh size: 10 mm). The position of the enclosure cages were randomized in both x- and y-direction, such that three open cards and three enclosed seed cards were present in each row and each column. After

exposure, seed cards were collected and the remaining seeds counted. To determine losses due to reasons other than seed predation, four seed cards per field were placed under fine-meshed enclosure cages (2.8 mm) and served as controls. Activity density of vertebrates (rodents) and invertebrates was measured using 18 Sherman life traps per field over three nights from 29 May to 1 June, baited with dough made out of oats, flour, peanut butter, oil and water. To estimate invertebrate activity density, six pitfall traps per field were for 48 hours from 31 May to 2 June. Each consisted of an 8 cm wide plastic container filled for 20 % with a 10 % ethylene glycol solution.

## 2.2 Statistical analyses

The percentage of seeds predated,  $Q$ , was estimated for each exposure period separately.  $Q$  was calculated as:

$$Q = \frac{S_i - S_f}{S_i} \times 100\% \quad [\text{week}^{-1}] \quad [1]$$

with  $S_i$ , the initial number of seeds per card, and  $S_f$ , the final number of seeds left after exposure. Results from control cards were referred to as  $Q_c$ ; those of cards exposed to predators as  $Q_m$ . The requirement of normality was met by a logit-transformation as confirmed by the Shapiro-Wilk normality test. The requirement of homogeneity of variance was checked by visual detection in the residual plots of the chosen models. Due to counting errors,  $Q$  was  $< 0$  % in a number of cases. To enable logit-transformation, all data were corrected by adding 3 % (1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> period), or 1 % (other periods). In cases where the correction led to  $Q_m > 100$  % these were set to 99 %.

In addition, the Abbott-corrected (ABBOTT, 1925) total percentage of seed predation,  $Q_{total}$ , was calculated as:

$$Q_{total} = \frac{S_i \times C - S_f}{S_i \times C} \times 100\% \quad [\text{week}^{-1}] \quad [2]$$

With  $C$ , the proportion of seeds recovered from control cards. Derived from  $Q_{total}$  is the percentage of seeds predated by vertebrates only ( $Q_{vert}$ ), which was calculated as:

$$Q_{vert} = \frac{S_i \times C - S_f}{S_i \times C} \times 100\% - Q_{inv\_field} \quad [\text{week}^{-1}] \quad [3]$$

with  $Q_{inv\_field}$  the field-specific, average percentage of seed predation by invertebrates .

Generalized linear mixed effects models (GLMM) were used to test if the response variable  $Q_m$  was influenced by the fixed effects of farming system, enclosure treatment or distance from the field edge using the package nlme of R, v 2.12.0 (PINHEIRO et al., 2010; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010). Field and position of seed cards in a row were included as random effects. All-possible-subset regression was conducted in two steps to find the model that best described the random and fixed effects. First, results from both exposed and control cards were included to test if  $Q_m$  differed significantly from  $Q_c$ . If so, seed losses were due to seed predation. Next, all-possible-subset regression was conducted to find the models that best described  $Q_m$ . Akaike's information criteria (AIC) was used as a selection criterion. All-possible-subset regression resulted in a random intercept mixed effects model with field as random factor.

## 3. Results

### 3.1 Seed predation rates

Regression analysis (GLMM) of the proportion of seeds removed from open seed cards and seed cards covered by cages, relative to control cards, indicated that seeds were removed through predation, except in the first exposure period, where seeds were lost mainly due to other causes ( $p = 0.059$ , Tab. 1).

**Tab. 1** Significance of seed predation, the number of observations ( $N$ ) and the effect of farming system (organic/conventional), distance from the field [m], enclosure treatment (caged/open), and interaction terms on the percentage of seeds predated, per observation period (back-transformed parameter estimates of random intercept mixed models with field as random factor).

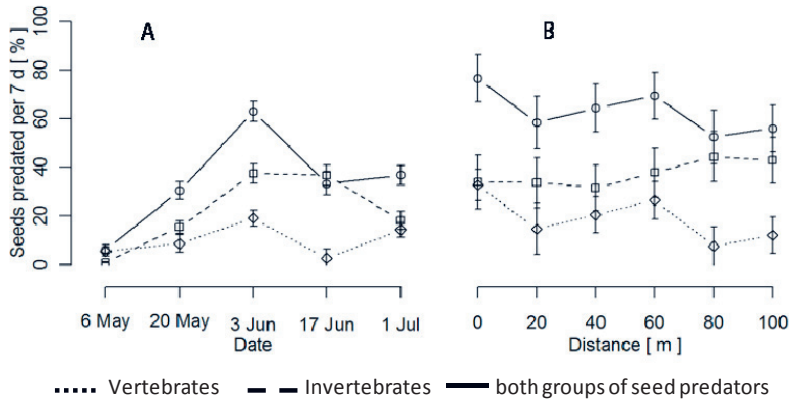
**Tab. 1** *Signifikanz der Samenprädation, Anzahl der Beobachtungen ( $N$ ), Einfluss der Bewirtschaftungsform (ökologisch/konventionell), Entfernung vom Feldrand [m], Ausschluß (Käfig/offen) und die Wechselwirkungen bezüglich des prozentualen Anteils gefressener Samen je Beobachtungsperiode (rücktransformierte Parameterschätzwerte des jeweilig besten random intercept mixed models mit Feld als Zufallsfaktor).*

Exposure period	6-13 May	20-27 May	3-10 Jun.	17-24 Jun.	1-8 July
<b>Significance seed predation</b>	<b>0.059</b>	***	***	***	***
<b><math>N</math></b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>168</b>	<b>204</b>
<u>Fixed effects</u>					
Intercept	0.06	0.68	0.95	0.67	0.88
Farming system		-0.53	-0.11	-0.4	-0.61 *
Distance [m]	- 9.1 e <sup>-4</sup> **	-2.3 e <sup>-3</sup>	7.9 e <sup>-5</sup>	0.17 ***	- 1.2 e <sup>-3</sup> *
Enclosure treatm.	- 0.06 ***	-0.43 ***	-0.40 ***	-0.17 *	- 0.56 ***
Enclosure treatm. x distance	1.0 e <sup>-3</sup> *	-	8.0 e <sup>-4</sup> *	-	2.2 e <sup>-3</sup> *
Farming system x distance	-	3.4 e <sup>-3</sup> *	-7.7 e <sup>-4</sup> *	-	-
Farming system x enclosure treatm.	-	0.22 **	-	-	-

Significance level; \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

The effect of enclosure treatment was (highly) significant during all exposure periods, with consistently more seeds predated from the open cards than from cards underneath vertebrate enclosure cages (Tab. 1). The effect of farming system was not significant, except during the last observation period when seed predation was lower in the organic fields. However, some interaction terms involving farming systems were significant, e.g., the interaction between farming system and enclosure treatment during the second observation period, which indicates that more seeds were predated by invertebrates in organic fields. For the sake of simplicity, seed predation rates were averaged over organic and conventional fields to produce Fig. 1A, which shows the percentage of seed predation increasing from early May (6 %) to early June (63 %). After June, seed predation decreased again such that by the end of the trial, early July, the percentage of seed predation was 37 %. The percentage of seeds predated by vertebrates was 87 %, 36 %, 34 %, 6 % and 44 % in the first, second, third, fourth, and fifth observation period (Fig. 1A).

The effect of the distance from the field edge was significant during the first, fourth and final observation period (Tab. 1). In addition, some interaction terms involving distance were significant, i.e., farming system  $\times$  distance (2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> period) and enclosure treatment  $\times$  distance (1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> period). The latter signifies distinctive trends for vertebrates and invertebrates, as illustrated by seed predation rates during the 3<sup>rd</sup> observation period in Figure 1B. However, most of these effects were non- or weakly significant.



**Fig. 1** Percentage of seed predation caused by vertebrates, invertebrates and both groups of seed predators in small-grain cereal fields averaged over all fields (mean  $\pm$  SE,  $n = 6$ ), in the municipality of Rostock, Mecklenburg-Vorpommern, Germany, over the course of the season (A) and (B) as a function of the distance from the field edge (3-10 June 2011). The location of the symbol in figure (A) indicates the start of a 7-day observation period.

**Abb. 1** Prozentualer Anteil des Samenfraßes durch Vertebraten, Invertebraten und beiden Prädatorengruppen gemittelt über alle Getreidefelder (Mittelwert  $\pm$  SE,  $n = 6$ ) in der Umgebung von Rostock, Mecklenburg-Vorpommern, Deutschland, im Verlauf einer Saison (A) und (B) als Funktion des Feldrandabstands (3.-10. Juni 2010). Die Datumsangaben in Abbildung (A) markieren den Beginn eines 7-tägigen Beobachtungszeitraums.

### 3.2 Seed predator identity

A total of 18 unique individuals of the striped field mice, *Apodemus agrarius* (Pallas), five unique individuals of wood mice, *A. sylvaticus* (L.), and one *Microtus* spp. were captured in six fields, during 324 trapnights (6 fields  $\times$  18 traps  $\times$  3 nights). The highest numbers of mice, namely six and eight, were caught in the conventionally managed fields 4 and 5, respectively. The number of rodents caught was extremely low in the organic fields, namely two, two and three, in fields 1, 2 and 3, respectively. Analyses of the pitfall trap catches are in progress, but preliminary results indicated that densities of typical granivorous carabids, such as *Amara* spp. and *Harpalus* spp., were low. Most individuals belonged to common, omnivorous species, such as *Poecilus cupreus* (L.) and *Pterostichus melanarius* (Illiger).

## 4. Discussion

The course of seed predation over the season, namely increasing rates from early spring to early summer and then decreasing again, is typical of small grain cereals and has previously been reported, e.g., in the Netherlands (WESTERMAN et al., 2003), UK (MAUCLINE et al., 2005), USA (HEGGENSTALLER et al., 2006), and southern Germany (BANHARDT, 2011). The pattern appears to be related to canopy cover which increases with crop growth and decreases with crop maturation (HEGGENSTALLER et al., 2006).

The level of seed predation (max. 63 % per 7 days) was lower than in most other studies which concurs with rates previously observed in the area (e.g., BARAIBAR et al., in press). It could at least in part be explained by the shorter exposure period used here, namely 7 instead of 14 days, as seed predation rate increases with exposure time (DAEDLOW, 2007). Although seed predation by invertebrates was more or less comparable to that observed in other studies, seed predation by vertebrates was much lower. The main vertebrate predators in Rostock were rodents; birds were seldom seen in any of the fields. This suggests that in northern Germany the relatively low seed predation rates by all predators combined may have been caused by a lower mouse activity. The lower foraging activity by granivorous mice would concur with the low number of mice present, as

compared to other studies (e.g., WESTERMAN et al., 2011). The number of rodents caught was slightly higher in the conventional fields 4 and 5, than in the other fields. Interestingly, these two fields were the only ones that had been managed with less tillage. Field 4 was mouldboard ploughed prior to seeding of wheat in 2010, but no tillage was applied in the preceding year. Field 5 was managed without tillage prior to seeding of winter wheat in 2010. This suggests that tillage may have affected rodent densities. We, therefore, reanalysed the data with the inclusion of an extra factor 'tillage'. However, results were not significant (data not shown).

Fields 4 and 5 were also different in that a number of seeds cards were severely damaged during the fourth and fifth observation period. It had been raining intensely already from 8 June onward, causing the sand-layer of the cards to be soaked. Frequently, we observed that the entire layer, seeds still attached, had rolled up and detached from the card. It is possible that it simply washed off the cards, as the slope of the fields was steeper than that in other fields. However, we also observed that some of these rolls had been partially dragged down the burrow system of earthworms. Usually, the density of earthworms is much higher in no-till fields than in tilled fields (EDWARDS and LOFTY, 1982). Severely damaged cards had been omitted from the analyses, causing an underestimation of the role of invertebrates in seed predation had earthworms been involved. Future research would be needed to investigate the role of tillage on the density and activity of rodents and earthworms, and how these affect seed predation.

Contrary to expectations, farming system (organic vs. conventional) had little or no effect on seed predation rates (Tab. 1). If anything, organic farming reduced seed predation. Farming system as such was therefore not the cause for the lower than usual predation rates. 'Farming system' is generic term that encompasses a set of actions and choices. The most relevant with regard to seed predators is the omission of pesticides, which should favour invertebrate predators (e.g., NAVNTOFT et al., 2006). However, it is possible that in the organic fields, a favourable effect caused by pesticide omission was counteracted by some deleterious effect caused by, for example, increased tillage intensity. This suggests that, in order to find the causes for the low predation rates in northern Germany and the most effective way to enhance seed predation, each management option will have to be tested for its merits separately.

Initially, seed predation decreased with increasing distance from the field edge but that trend reversed from the third period onward. During three observation periods, the two groups of predators behaved differently; seed predation by vertebrates decreased while seed predation by invertebrates increased with distance from the field edge. The role of field edges and other non-crop habitats on the functioning of seed predators is ambiguous. LANDIS and MARINO (1999) proposed three explanations for the observed variable responses; 1) some seed predators may not respond to non-crop habitats, 2) different seed predators may respond differently to non-crop habitats, and 3) the response to habitat differences is examined at an inappropriate spatial scale. Although the absolute contribution of vertebrates to seed predation was more or less stable, the relative contribution changed over the season; only during the first period vertebrates were responsible for most of seed predation whereas from then on invertebrates played a major role (up to 94 % during the 4<sup>th</sup> period). Observed responses with regard to the presence of non-crop habitat may, therefore, be linked to predator identity, with rodents, mainly *A. agrarius*, foraging preferentially near the field edges (see also DAEDLOW, 2007), and invertebrates foraging indifferently with regard to distance from the field edge or preferentially away from the field edge. Carnivorous carabid densities were low (data not presented) and it is therefore likely that they were not responsible for the observed low density of granivorous carabids.

Biological control is affected by landscape complexity, with generally higher predation rates in complex versus simple landscapes (e.g. LANDIS and MARINO, 1999). Crop management in Mecklenburg-Vorpommern is intense and the scale of agricultural operations large. It is conceivable that instead of separate crop and soil management operations (e.g., pesticide use, tillage intensity), the impoverished landscape as a whole was responsible for the low density of seed predators and low seed predation rates observed.



## Acknowledgements

We are grateful for the field assistance of Rosa Minderlen, Martina Goltermann and Ingolf Gliege. Financial support for Daniel Daedlow was provided by the Rosa Luxemburg Foundation.

## References

- ANONYMUS, 2009: [HTTP://NAP.JKI.BUND.DE/INDEX.PHP?MENUID=37](http://NAP.JKI.BUND.DE/INDEX.PHP?MENUID=37) (LAST ACCESSED 7 DECEMBER 2011).
- ANONYMUS, 2011: [HTTP://WWW.DWD.DE/BVBW/APPMANAGER/BVBW/DWDWWWDESKTOP](http://WWW.DWD.DE/BVBW/APPMANAGER/BVBW/DWDWWWDESKTOP) (LAST ACCESSED 7 DECEMBER 2011).
- ABBOTT, W.S., 1925: A METHOD OF COMPUTING THE EFFECTIVENESS OF AN INSECTICIDE. *JOURNAL OF ECONOMIC ENTOMOLOGY* **18**, 263-267.
- BANHARDT, A., 2011: REDUZIERUNG VON UNKRAUTSAMEN DURCH FRAß (SAMENPRÄDATION) BEI UNTERSCHIEDLICH INTENSIVER BODENBEARBEITUNG. MSc THESIS, UNIVERSITÄT HOHENHEIM, PP. 108.
- BARAIBAR, B., D. DAEDLOW, F. DE MOL AND B. GEROWITT, IN PRESS: DENSITY DEPENDENCE OF WEED SEED PREDATION BY INVERTEBRATES AND VERTEBRATES IN WINTER WHEAT. *WEED RESEARCH*, IN PRESS. DOI: 10.1111/J.1365-3180.2011.00889.X.
- BARAIBAR, B., P.R. WESTERMAN, E. CARRIÓN AND J. RECASENS, 2009: EFFECTS OF IRRIGATION AND TILLAGE IN CEREAL FIELDS ON WEED SEED REMOVAL BY PREDATORS. *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY* **46**, 380-387.
- DAEDLOW, D., 2007: UNTERSUCHUNGEN ZUM FRAß VON ACKERUNKRAUTSAMEN IN SOMMERWEIZEN UND IN ANGRENZENDEN ÖKOLOGISCHEN INFRASTRUKTUREN. MSc THESIS, UNIVERSITÄT ROSTOCK, PP. 88.
- EDWARDS, C.A. AND J.R. LOFTY, 1982: THE EFFECT OF DIRECT DRILLING AND MINIMAL CULTIVATION ON EARTHWORM POPULATIONS. *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY* **19**, 723-734.
- FIRBANK, L.G. AND A.R. WATKINSON, 1986: MODELLING THE POPULATION DYNAMICS OF AN ARABLE WEED AND ITS EFFECTS UPON CROP YIELD. *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY* **23**, 147-159.
- HEGGENSTALLER, A.H., F.D. MENALLED, M. LIEBMAN AND P.R. WESTERMAN, 2006: SEASONAL PATTERNS IN POST-DISPERSAL SEED PREDATION OF *ABUTILON THEOPHRASTI* AND *SETARIA FABERI* IN THREE CROPPING SYSTEMS. *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY* **43**, 999-1010.
- LANDIS, D.A. AND P. MARINO, 1999: LANDSCAPE STRUCTURE AND EXTRA-FIELD PROCESSES: IMPACT ON MANAGEMENT OF PESTS AND BENEFICIALS. IN: RUBERSON, J.R. (ED.), 1999: HANDBOOK OF PEST MANAGEMENT, PP. 79-104. MARCEL-DEKKER, NEW-YORK-BASEL.
- MAUCHLINE, A.L., S.J. WATSON, V.K. BROWN AND R.J. FROUD-WILLIAMS, 2005: POST-DISPERSAL SEED PREDATION OF NON-TARGET WEEDS IN ARABLE CROPS. *WEED RESEARCH* **45**, 157-164.
- NAVNTOFT, S., P. ESBJERG AND W. RIEDEL, 2006: EFFECTS OF REDUCED PESTICIDE DOSAGES ON CARABIDS (CLEOPTERA: CARABIDAE) IN WINTER WHEAT. *AGRICULTURAL AND FOREST ENTOMOLOGY* **8**, 57-62.
- PINHEIRO J., BATES D., DEBROY S., SARKAR D. AND THE R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010: NLME: LINEAR AND NONLINEAR MIXED EFFECTS MODELS. R PACKAGE VERSION 3.1-97. URL [HTTP://CRAN.R-PROJECT.ORG/WEB/PACKAGES/NLME/INDEX.HTML](http://CRAN.R-PROJECT.ORG/WEB/PACKAGES/NLME/INDEX.HTML) (LAST ACCESSED 13 OCTOBER 2011).
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010: 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) (LAST ACCESSED 13 OCTOBER 2011).
- WESTERMAN, P.R., J.S. WES, M.J. KROPFF AND W. VAN DER WERF, 2003: ANNUAL LOSSES OF WEED SEEDS DUE TO PREDATION IN ORGANIC CEREAL FIELDS. *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY* **40**, 824-836.
- WESTERMAN, P.R., C.D. LUJENDIJK, J. WEVERS AND W. VAN DER WERF, 2011: WEED SEED PREDATION IN A PHENOLOGICALLY LATE CROP. *WEED RESEARCH* **51**, 157-164.



## Unkräuter auf Wegen und Plätzen und ihre Bekämpfung

*Weeds on pavements and their control*

Arnd Verschwele

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

DOI: 10.5073/jka.2012.434.034

### Zusammenfassung

Im Rahmen des EU-Projekts CleanRegion wurden im Stadtgebiet von Braunschweig in den Jahren 2005 bis 2007 umfangreiche Vegetationsaufnahmen auf Wegen und Plätzen durchgeführt. Diese Erhebungen erfolgten an bis zu 165 Boniturflächen, die auf Wohn- und Industriegebiete sowie Grünflächen verteilt waren. Im gesamten Versuchszeitraum waren 78 Unkrautarten bzw. Artengruppen vertreten. Mit Stetigkeiten über 12 % zählten neben den Laubmoosen *Sagina procumbens*, *Poa annua*, *Taraxacum officinale* und *Polygonum aviculare* zu den häufigsten Arten. 26 Pflanzenarten, darunter viele einjährige Ackerunkräuter, waren mit Stetigkeiten von maximal 1 % nur sporadisch vertreten. Der Unkraut-Deckungsgrad lag im Durchschnitt bei 6,3 %, erreichte aber vor allem in Industriegebieten vereinzelt deutlich höhere Werte. Signifikante Deckungsgrad-Unterschiede zwischen den Nutzungsarten der Flächen gab es jedoch nicht.

Zusätzlich wurden 2005 und 2006 an 8 Standorten in Braunschweig Versuche zur physikalischen und chemischen Unkrautbekämpfung durchgeführt. Im Durchschnitt beider Jahre wurden, bezogen auf den Deckungsgrad zum Vegetationsende, folgende Wirkungsgrade erreicht: 1. Rotofix (71 %), 2. Heißschaum (59 %), 3. Heißdampf (35 %), 4. Unkrautbürste (35 %), 5. Abflammen (13 %). Die Untersuchungen zeigten, dass bei der Auswahl geeigneter Verfahren nicht nur die Effektivität, sondern auch die Art und Dichte der Verunkrautung sowie die Art der befestigten Oberfläche berücksichtigt werden muss. Verschiedene Verfahren sollten kombiniert werden, um langfristig eine Selektion bestimmter Unkrautarten zu vermeiden.

**Stichwörter:** Nicht-chemische Bekämpfung, Rotofix, Unkrautarten, Unkraut-Deckungsgrad

### Summary

Extensive vegetation surveys on pavements have been conducted in the city of Braunschweig from 2005 to 2007 as part of the EU project CleanRegion. The survey was conducted at 165 plots situated in residential and industrial zones as well as in parks and recreation areas. During the complete period we found 78 weed species e.g. groups of weeds. Most frequent (> 12 %) were bryophytes, *Sagina procumbens*, *Poa annua*, *Taraxacum officinale* and *Polygonum aviculare*. 26 species, including many arable annual weed species occurred very sporadically (frequency < 1 %). The mean weed coverage was 6.3 % but was much higher in some cases in industrial zones. However, there were no significant differences of the weed coverage in the three different zones.

Additional weed control trials including physical and chemical control measures have been conducted at 8 sites located in Braunschweig in 2005 and 2006. Based on the weed coverage at the end of vegetation period the following efficacy has been achieved: 1. Rotofix (71 %), 2. hot foam (59 %), 3. hot steam (35 %), 4. weed brush (35 %), 5. flaming (13 %). The investigation indicates that beside the efficacy we also have to consider the weed species and density as well as the pavement condition. Different methods should be combined in order to avoid selection pressure of certain weed species.

**Keywords:** Non-chemical control, Rotofix, weed coverage, weed species

### 1. Einleitung

Unkräuter sind auf Wegen und Plätzen unerwünschte Pflanzen. Ihre Bekämpfung ist erforderlich, um die Verkehrs- und Betriebssicherheit der Flächen zu gewährleisten. Sie stören darüber hinaus häufig das Ästhetik- und Ordnungsempfinden vieler Bürger. Vielfach wird außerdem angeführt, dass mit steigender Verunkrautung städtische Flächen zusätzlich durch Müll und Unrat unansehnlich erscheinen. Werden Unkräuter auf derartigen Flächen nicht bekämpft, können außerdem hohe Kosten für die Instandhaltung folgen. Andererseits wird der Naturschutzwert von Pflanzengesellschaften auf Wegen und Plätzen als gering eingeschätzt (BRANDES, 2005).

Weil chemische Bekämpfungsmaßnahmen stark reglementiert sind, nur in Ausnahmefällen

genehmigt werden und darüber hinaus in vielen Städten und Gemeinden grundsätzlich abgelehnt werden, stellt sich die Frage nach wirksamen Alternativen der Unkrautbekämpfung. Hier Lösungen zu entwickeln, war das Ziel eines dreijährigen EU-Projekts, in dem mehr als 20 Partner aus 7 nordeuropäischen Ländern teilnahmen. Nachfolgend werden ausschließlich die Versuchsergebnisse beschrieben, die in Deutschland erarbeitet wurden.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Erhebungen zu Unkrautarten und -dichten

Von 2005 bis 2007 wurde im Stadtgebiet Braunschweig das Unkrautvorkommen auf befestigten Fußwegen erhoben. Im ersten Jahr fanden diese Untersuchungen nur an 18 Boniturstellen statt, in den Jahren 2006 und 2007 kamen weitere 34 Flächen hinzu. Tabelle 1 beschreibt den Standort Braunschweig sowie die Boniturf lächen und zeigt beispielhaft einen Kartenausschnitt mit mehreren Erhebungspunkten.

**Tab. 1** Standortbeschreibung des Stadtgebiets Braunschweig (einschließlich Kartenausschnitt).

**Tab. 1** Characterisation of the city of Braunschweig (including map details).



Geografische Lage	52°16'N, 10°31'O
Fläche	192 km <sup>2</sup>
Einwohner	245.000
Niederschlag	2005: 513 mm 2006: 474 mm 2007: 882 mm
Flächen-Bauart (Anzahl der Boniturf lächen)	Verbundstein (11) Platten (30) Naturstein (8) Asphalt, Kies (6)
Nutzung (Anzahl der Boniturf lächen)	Wohngebiete (24) Industrie (14) Grünflächen (14)

Die Flächen wurden nicht zufällig ausgewählt, sondern waren im gesamten Stadtgebiet so verteilt, dass sie in Bezug auf folgende Eigenschaften ausreichend variierten: (a) Art der Umgebung (Wohngebiete, Industriegebiete, Grünflächen), (b) Fugenanteil, Nutzungsintensität und Alter des Gehwegs, (c) Wachstumsfaktoren (Licht, Feuchtigkeit). Der Innenstadtbereich mit dem typisch hohen Anteil an Fußgängerzonen, Geschäftsflächen und Parkplätzen wurde nicht untersucht.

Innerhalb der Boniturflächen lagen drei Kernparzellen mit einer Fläche von je 80 x 80 cm, die über die gesamte Versuchszeit ortsfest und dauerhaft markiert waren (Abb. 1). Von den Kernparzellen lag jeweils eine Fläche in der Mitte des Gehwegs (Mitte), eine an der Straßenseite (Außen) sowie auf der gegenüber auf der innen liegenden Seite (Innen). Innerhalb des Versuchszeitraums sollte hier keine Unkrautbekämpfung erfolgen, die Parzellen wurden jedoch in allen Jahren zum Vegetationsende gejätet und gereinigt. Im letzten Versuchsjahr gingen vier Flächen durch Bauarbeiten oder andere störende Eingriffe verloren.

Zu drei bis vier Terminen während der Vegetationsperiode wurden auf den insgesamt 165 (2005: 54) Parzellen die Unkrautarten und der Gesamt-Unkrautdeckungsgrad bonitiert. Zusätzlich wurden die Deckungsgrade der drei häufigsten Arten visuell geschätzt. Fotos der Boniturflächen wurden am PC unter ein digitales Raster von 20 x 20 Punkten gelegt. Anschließend wurde der Anteil derjenigen Kreuzungspunkte erfasst, die mit grünen Blatteilen bzw. Moos überdeckten. Im Vergleich zur visuellen Schätzung und digitalen Bildanalyse-Verfahren erwies sich diese Methode der Deckungsradmessung als sehr genau.



**Abb. 1** Boniturfläche mit den drei Kernparzellen (Außen, Mitte, Innen).

**Fig. 1** Assessment plot including three center plots (Outside, Center, Inside).

Die statistische Auswertung der Vegetationsaufnahmen erfolgte mit dem Programm Statgraphics Plus 5.1. Vorkommen und Verteilung der Unkräuter werden tabellarisch als Stetigkeiten und grafisch in Form von Box-Whisker-Plots dargestellt.

## 2.2 Bekämpfungsversuche

In den Jahren 2005 und 2006 wurden in Braunschweig auf insgesamt acht Flächen (2005: 5, 2006: 3) umfangreiche Versuche zur mechanischen, thermischen und chemischen Bekämpfung der Unkräuter auf Fußwegen durchgeführt. Für diese Behandlungen wurden Gehwege mit einer Mindestlänge von 500 m ausgewählt, die sowohl in Bezug auf die Beschaffenheit als auch von der Umgebung her weitgehend homogen waren. Die Versuche wurden in 3- oder 4-facher Wiederholung mit einer Parzellenlänge von mindestens 25 m angelegt. Folgende Behandlungen wurden im Vergleich mit der unbehandelten Variante geprüft (herstellende bzw. ausführende Firma in Klammern):

- a) thermisch: Abflamngerät (Green-Flame 850 E, Fa. Green-Flame, Vordingborg, Dänemark)
- b) thermisch: Heißschaumgerät (Waipuna, Fa. OMK-Ihr Dienstleister, Heinrichsberg)
- c) thermisch: Heißwassergeräte (Weedcleaner, Fa. Kemming Agrardienstleistung, Dülmen)
- d) mechanisch: Unkrautbürste (Fa. Egholm, Braunschweig)
- e) chemisch: Herbizidbehandlung mit Rotofix (Fa. Rotowiper, Ruhmannsfelden)

Die thermischen und mechanischen Maßnahmen erfolgten zu drei Terminen im Jahr (Mitte Mai, Ende Juni, Mitte September), die Herbizidbehandlung mit Rotofix wurde nur an den ersten beiden Terminen durchgeführt. Hier wurde im Walzenstreichverfahren eine 10 %ige Roundup-Ultra-Lösung (360 g/l Glyphosat) in Verbindung mit einem schaubildenden Spülmittel appliziert. In jeder Wiederholung lagen drei Messquadrate (0,8 m x 0,8 m) zur Erfassung der Unkrautarten und des Gesamtdeckungsgrades. Bonitiert wurde stets kurz vor den Behandlungen sowie 10-14 Tage danach, eine Abschlussbonitur erfolgte Mitte Oktober. Der Unkraut-Deckungsgrad wurde wie in Kap. 2.1 beschrieben erfasst.

In zusätzlichen Versuchen, die 2006 auf zwei Standorten in Braunschweig durchgeführt wurden, stand der Vergleich verschiedener Rotofix-Anwendungen im Vordergrund. Die Flächen bestanden aus Natursteinpflaster (Am Gänsekamp) und Verbundsteinpflaster (Pommerstraße). Folgende Varianten wurden geprüft: (a) Finalsan, 4 x 166 l/ha (186,7 g/l Pelargonsäure), (b) Abflammen (Green-Flame 850 E) + Rotofix, (c) Rotofix, 1 x, ohne Nachreinigung, (d) Rotofix 2 x, ohne Nachreinigung, (e) Rotofix, 2 x, mit Nachreinigung. Die Bonitur der Verunkrautung erfolgte wie oben beschrieben.

Die statistische Auswertung der Bekämpfungsversuche, einschließlich ANOVA- und LSD-Auswertungen, erfolgte mit dem Programm Statgraphics Plus 5.1. In Grafiken sind die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben. Moose wurden hier nicht berücksichtigt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Erhebungen zu Unkrautarten und -dichten

In den drei Versuchsjahren wurden 51-71 (insgesamt 78) Unkrautarten gefunden (Tab. 2). Die Anzahl der Pflanzenarten, die auf den 0,64 m<sup>2</sup> großen Kernparzellen festgestellt wurden, ist mit maximal 11-14 vergleichsweise hoch. Einschränkung ist jedoch zu bemerken, dass einige Flächen vor allem in Randgebieten völlig ungepflegt oder auch durch Überschwemmungsereignisse zu fast 100 % mit Boden bedeckt waren. Auf schadhafte Flächen mit Belagrisen oder Absenkungen ist ebenfalls verstärktes Unkrautwachstum festzustellen. In den meisten Fällen lag der Fugenanteil unter 12 %.

**Tab. 2** Unkrautvorkommen auf Fußwegen im Stadtgebiet Braunschweig.

**Tab. 2** *Weed abundance on pathways in the city of Braunschweig.*

Nr.	2005	2006	2007
Anzahl Kernparzellen	54	165	153
Anzahl Arten gesamt	51	71	58
Anzahl Arten je Parzelle	0-11	0-14	0-14
Unkrautdeckungsgrad Ø (%)	5,4	6,9	6,1
Unkrautdeckungsgrad min. (%)	0	0	0
Unkrautdeckungsgrad max. (%)	33,5	74,5	49,3

Boniturzeitraum: 22.06.-11.07.

Die Gruppe der Laubmoose (*Bryophyta*) führt die Rangliste deutlich an, sie wurden jedoch nicht weiter differenziert und hier als eine Art gewertet. Weiterhin zählten *Sagina procumbens*, *Poa annua* und *Taraxacum officinale* zu den häufigsten Arten mit Stetigkeiten über 12 % (Tab. 3).

Seltener (5-10 %) traten z. B. *Artemisia vulgaris*, *Senecio* spp., *Epilobium* spp., *Festuca rubra*, *Sonchus* spp. auf. Weitere 26 Pflanzenarten waren mit Häufigkeiten von maximal 1 % nur sporadisch vertreten. Hierzu gehörten zum Beispiel *Prunella vulgaris*, *Dactylis glomerata* oder *Hypericum perforatum*. In 2006 wurden vor allem in den Randbereichen der Stadt zusätzlich viele einjährige Ackerunkrautarten

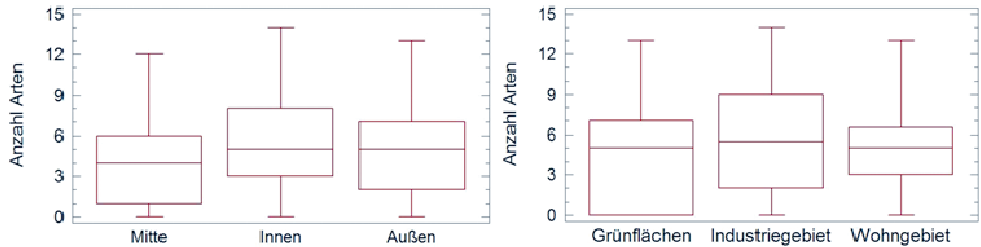
gefunden (z. B. *Capsella bursa-pastoris*, *Lamium amplexicaule*, *Veronica* spp.). Insgesamt überwogen jedoch deutlich die ausdauernden Pflanzenarten gegenüber ein- und zweijährigen Arten. Im Gegensatz zu *Poa annua* waren andere Gräser wie *Festuca rubra* oder *Agrostis tenuis* nur schwach vertreten.

**Tab. 3** Rangliste der häufigsten Unkrautarten auf Fußwegen im Stadtgebiet Braunschweig.

**Tab. 3** *Most frequent weed species on pathways in the city of Braunschweig.*

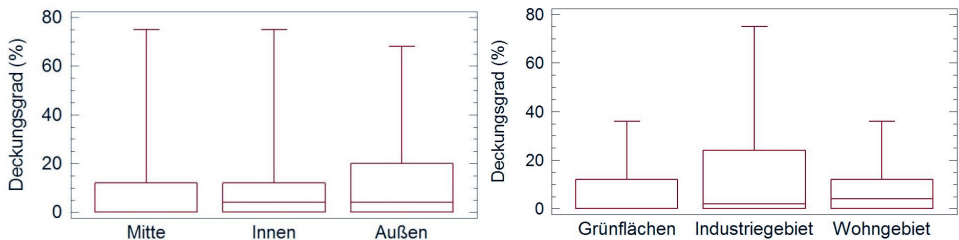
Rang	2005	2006	2007
1	<i>Bryophyta</i>	<i>Bryophyta</i>	<i>Bryophyta</i>
2	<i>Sagina procumbens</i>	<i>Sagina procumbens</i>	<i>Sagina procumbens</i>
3	<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Poa annua</i>
4	<i>Poa annua</i>	<i>Poa annua</i>	<i>Polygonum aviculare</i>
5	<i>Plantago major</i>	<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Conyza canadensis</i>
6	<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Poa</i> spp.	<i>Taraxacum officinale</i>
7	<i>Conyza canadensis</i>	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	<i>Plantago major</i>
8	<i>Poa</i> spp.	<i>Plantago major</i>	<i>Arenaria serpyllifolia</i>
9	<i>Stellaria media</i>	<i>Conyza canadensis</i>	<i>Matricaria discoidea</i>
10	<i>Geranium purpureum</i>	<i>Artemisia vulgaris</i>	<i>Veronica agrestis</i>

Der Unkraut-Deckungsgrad lag im Durchschnitt bei 6,3 %, wobei vereinzelt, vor allem in Industriegebieten, deutlich höhere Werte erreicht wurden (Tab. 2, Abb. 3). Der Anteil an völlig unkrautfreien Kernparzellen war jedoch überraschenderweise in Industriegebieten mit 50-64 % höher als an Grünflächen (49-59 %) und Wohngebieten (44-48 %). Signifikante Deckungsgrad-Unterschiede zwischen den Nutzungsarten der Flächen gab es daher nicht.



**Abb. 2** Anzahl der Unkrautarten in Abhängigkeit der Position auf dem Gehweg (links) und in Abhängigkeit von der Nutzungsart der umgebenden Fläche (rechts), n = 165, Braunschweig 2006.

**Fig. 2** *Number of weed species in relation of pathway position (left) and in relation to function of the surrounding area (right), n = 165, Braunschweig 2006.*

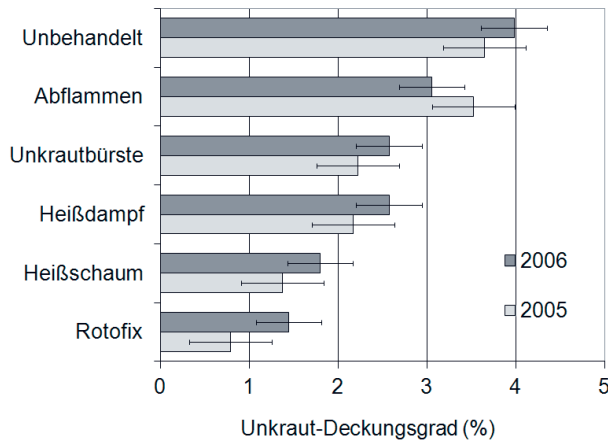


**Abb. 3** Unkraut-Deckungsgrad (%) in Abhängigkeit der Position auf dem Gehweg (links) und in Abhängigkeit von der Nutzungsart der umgebenden Fläche (rechts), n = 165, Braunschweig 2006.

**Fig. 3** *Weed coverage (%) in relation of pathway position (left) and in relation to function of the surrounding area (right), n = 165, Braunschweig 2006.*

### 3.2 Bekämpfungsversuche

Die Verunkrautung in den Bekämpfungsversuchen war allgemein geringer als auf den Beobachtungsflächen (Abb. 4). Bezogen auf den Unkraut-Deckungsgrad (ohne Laubmoose) lagen die Wirkungsgrade der untersuchten Methoden zwischen 3 % und 78 %. Im Durchschnitt beider Jahre wurden folgende Wirkungsgrade erreicht: 1. Rotofix (71 %), 2. Heißschaum (59 %), 3. Heißdampf (35 %), 4. Unkrautbürste (35 %), 5. Abflammen (13 %).



**Abb. 4** Wirkung unterschiedlicher Bekämpfungsverfahren auf den Unkraut-Deckungsgrad (%) auf Fußwegen in Braunschweig, bonitiert 2 Wochen nach der letzten Behandlung (Ende September).

**Fig. 4** Effect of different control measures on the weed coverage (%) on pathways in Braunschweig, estimated two weeks after last treatment (end of September).

Im Vergleich zu landwirtschaftlichen Kulturen sind diese Bekämpfungswerte der hier geprüften Methoden auf Fußwegen folglich sehr schwach. Selbst das Walzenstreichverfahren Rotofix mit dem nicht-selektiven Wirkstoff Glyphosat erreichte keine zufriedenstellende Wirkung. Weil die rotierende Walze nicht tiefer als 20 mm über den Boden geführt werden kann, werden technisch bedingt niedrig wachsende Pflanzenarten wie *Sagina procumbens*, *Polygonum aviculare* oder gelegentlich auch *Taraxacum officinale* nicht erfasst. Andere Arten wie *Conyza canadensis* und *Equisetum* spp. sind darüber hinaus nicht sensitiv gegenüber Glyphosat.

**Tab. 4** Wirkung unterschiedlicher Bekämpfungsverfahren auf den Unkraut-Deckungsgrad (%) auf zwei Fußwegen in Braunschweig (Bonitur am 07.11.2006).

**Tab. 4** Effect of different control measures on the weed coverage (%) on two pathways in Braunschweig (estimation on 07.11.2006).

Behandlung	Am Gänsekamp			Pommerstraße		
	grün	abgestorben	Summe	grün	abgestorben	Summe
Finalsan, 4 x	1,9	1,2	3,1*	1,1	1,1	2,2
Abflammen + Rotofix	2,4	1,0	3,4	1,0	0,9	1,9*
Rotofix, 1x, ohne Reinigung	2,7	0,9	3,6	1,9	0,7	2,6
Rotofix, 2 x, ohne Reinigung	2,5	0,5	3,1*	1,5	0,8	2,3
Rotofix, 2 x, mit Reinigung	2,6	0,5	3,1*	0,9	0,4	1,3*
Unbehandelt	3,1	1,6	4,7	2,8	0,7	3,5

\*) signifikanter Unterschied zu Unbehandelt (LSD),  $p < 0,05$



Die zwei weiteren Bekämpfungsversuche mit unterschiedlichen Rotofixbehandlungen ergaben kein einheitliches Bild (Tab. 4). Technisch bedingt kann das Rotofixgerät kleine Unkrautarten nicht erfassen, so dass die Ausgangsverunkrautung einen großen Einfluss auf den Bekämpfungserfolg hat. Im Versuchsjahr kam hinzu, dass eine lange und trockene Phase im Sommer auch in der unbehandelten Variante zum Rückgang der Verunkrautung führte. In solchen Fällen hat die Nachreinigung oder alleinige Reinigung mit einer Kehrmachine eine größere Wirkung als die direkte thermische oder chemische Behandlung. Zu früheren Boniturterminen war der Gesamtdeckungsgrad in den Varianten Finalsan und Abflammen + Rotofix deutlich geringer als bei der Abschlussbonitur.

## 4. Diskussion

### 4.1 Unkrautvorkommen

Mit über 50 Pflanzenarten auf Fußwegen wurde im Stadtgebiet von Braunschweig ein breites Artenspektrum gefunden. Es gibt jedoch nur wenige Arten, die nahezu flächendeckend vorkommen, und eben diese Arten waren auch in den anderen Städten, die im Projekt untersucht worden waren, sehr häufig vertreten. In Dänemark, Schweden, Großbritannien und den Niederlanden zählten *Sagina procumbens*, *Poa annua* und *Polygonum aviculare* zu den 10 häufigsten Pflanzenarten in fünf untersuchten Städten (MELANDER et al., 2009). Diese Arten sowie *Conyza canadensis*, *Plantago major* und *Taraxacum officinale* werden auch von anderen Autoren in Deutschland als häufig beschrieben (AUGUSTIN, 2003; DITTRICH, 2012; ZWARGER et al., 2000). Sie sind überwiegend Vertreter der Trittgesellschaften, d. h. aufgrund ihres Wuchsverhaltens und ihres hohen Anpassungsvermögens sind sie in der Lage, mechanische Belastungen zu tolerieren bzw. zu vermeiden und derartige lebensfeindliche Standorte zu besiedeln.

Die Art und Intensität der Nutzung sowie die Umgebung haben einen Einfluss auf die Zusammensetzung und Dichte der Pflanzenarten (WITTIG, 2008). BRANDES (2005) konnte darüber hinaus nachweisen, dass die urbane Vegetation mit der Länge von Straßen bzw. Größe von Flächen zunimmt. Die Biodiversität ist seinen Angaben nach auch in Bereichen der alten Stadtgrenze deutlich höher als im intensiv genutzten Innenstadtbereich. Aus vegetationskundlicher Sicht sind diese Aspekte durchaus interessant. Im Vergleich zur notwendigen Pflege und Erhaltung befestigter Flächen spielt jedoch der Naturschutzaspekt bei den Verantwortlichen eine untergeordnete Rolle. Kenntnisse über relevante Unkrautarten, ihre Lebensweise und Zusammensetzung sind aber notwendig, um langfristig und effizient Vegetationskontrolle auf Wegen und Plätzen betreiben zu können.

### 4.2 Unkrautregulierung

Thermische Verfahren auf Basis von Heißwasser bzw. Heißschaum haben sich als befriedigend in ihrem Wirkungsrad erwiesen und waren nur wenig schlechter als die chemische Streichbehandlung mit dem Rotofixgerät. Auffällig hoch ist die Spannbreite an Wirkungsgraden, die in den Versuchen ermittelt wurden, die sich aber nicht immer erklären ließ. Auch das Walzenstreichverfahren Rotofix hat im Vergleich zu Spritzapplikationen mit Glyphosat eine geringere Wirkungssicherheit, wie Ringversuche in 4 Städten zeigten (VERSCHWELE et al., 2008).

Die oberflächliche Hitzewirkung kann den Wiederaustrieb bestimmter Arten auch nach mehrmaliger Behandlung nicht verhindern, wie auch REICHEL (2003) in mehrjährigen Versuchen auf befestigten Flächen feststellte. Unkräuter wie *Sagina procumbens*, *Conyza canadensis*, *Matricaria* spp. und auch Moose sind jedoch vergleichsweise sensitiv gegenüber thermischen Behandlungen. Die abtötende Wirkung auf Unkrautsamen durch Heißwasserbehandlungen wird zwar häufig genannt, hierzu fehlen jedoch sichere Belege. Eigene Erfahrungen sprechen tendenziell gegen derartige Effekte, zumindest bei praxisüblichem Energieaufwand.

Die Vielfalt an derzeit verfügbaren Geräten zur mechanischen Unkrautbekämpfung auf befestigten Flächen ist außerordentlich hoch, so dass die hier eingesetzte Wildkrautbürste nur eine begrenzte Auswahl darstellt. Unabhängig von der spezifischen Ausgestaltung sind mechanische Verfahren immer dann vorteilhaft, wenn es um die Sanierung oder Grundreinigung stark verunkrauteter

Flächen geht. Eine Nachreinigung, die bei thermischen und chemischen Behandlungen erforderlich ist kann hier entfallen. Herrschen hoch gewachsene Unkräuter vor, sollte eine Mahd vor einem möglichen Rotofixeinsatz erfolgen, um das Abknicken der Pflanzen und somit eine mangelhafte Benetzung mit dem Wirkstoff Glyphosat zu verhindern (BOAS et al., 2004). Dieses Beispiel zeigt, dass ein einziges Verfahren in den seltensten Fällen ausreichen wird, um Unkräuter auf Wegen und Plätzen effizient zu bekämpfen. Weil jede der hier beschriebenen Verfahren Wirkungslücken aufweist, ist eine Kombination notwendig, um die Selektion bestimmter Unkrautarten zu verhindern. Eine zusammenfassende Bewertung in Bezug auf Wirkung und Anwendung der verschiedenen Methoden findet sich z.B. bei RASK und KRISTOFFERSEN (2007). Ökologische und ökonomische Effekte werden von KEMPENAAR und SAFT (2006) ausführlich erörtert.

Weitere Arbeiten zeigen, dass bei allen nicht-chemischen Verfahren der Einstellung und Handhabung sowie dem Einsatztermin der Geräte eine große Bedeutung zukommt. Die Vielfalt an Verfahren und Einsatzbedingungen erschwert nicht nur die Vergleichbarkeit von Untersuchungen, sondern auch eine effiziente und zielgerichtete Nutzung in der Praxis. Zukünftig wird es nötig sein, die Verfahren technisch zu optimieren wie z.B. in Bezug auf den Energieverbrauch bei thermischen Verfahren. Nicht-chemische Verfahren müssen darüber hinaus für kommunale Nutzer oder Dienstleister umfassend von Fachexperten beschrieben und begleitet werden.

### Danksagung

Ich bedanke mich bei den Kolleginnen und Kollegen, die die Untersuchungen unterstützt haben (Yasemine Sömer, Monika Merta, Dorothea Kirsch-Tietz, Martina Kracht und Werner Löhr). Sehr hilfreich war auch die Mitarbeit von Silvia Sender vom Fachbereich Stadtgrün der Stadt Braunschweig. Die hier beschriebenen Arbeiten waren Teil des europäischen CleanRegion-Projekts, das im Rahmen des InterregIII-C-Programms von der Europäischen Union gefördert worden ist.

### Literatur

- AUGUSTIN, B., 2003: ECONOMIC ASPECTS OF DIFFERENT METHODS OF WEED CONTROL IN URBAN AREAS. IN: SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT HEALTH IN URBAN HORTICULTURE. H. BALDER, K.-H. STRAUCH UND G.F. BACKHAUS (EDS.), 155–165. BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND UND FORSTWIRTSCHAFT, BERLIN.
- BOAS, P., R. DRIES UND B. KEMPA, 2004: DAS WALZENSTREICHVERFAHREN ROTOFIX. STADT UND GRÜN **52**, 53–56.
- BRANDES, D., 2005: NEUES VON DER STRASSE - EPHEMEROPHYTENDYNAMIK UND BIODIVERSITÄT. FACHGESPRÄCH UNKRÄUTER AUF KOMMUNALEN FLÄCHEN, 22.11.2005, BBA BRAUNSCHWEIG, [HTTP://WWW.BIBLIO.TU-BS.DE/GEOBOT/NEUES\\_VON\\_DER\\_STRASSE.PDF](http://www.biblio.tu-bs.de/geobot/neues_von_der_strasse.pdf).
- DITTRICH, R., 2012: UNKRAUTAUFRETEN AUF WEGEN UND PLÄTZEN IN SACHSEN UND WIRKUNG THERMISCHER BEKÄMPFUNGSMETHODEN, JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN **64**, (IN VORBEREITUNG).
- KEMPENAAR, C. UND R.J. SAFT, 2006: WEED CONTROL IN THE PUBLIC AREA: COMBINING ENVIRONMENTAL AND ECONOMICAL TARGETS. CONFERENCE ON POLICIES ON PESTICIDE USE BY LOCAL AND REGIONAL AUTHORITIES, 25TH APRIL 2006, WAGENINGEN, THE NETHERLANDS, DIAS REPORT **126**, 17–26.
- MELANDER B., N. HOLST, A.C. GRUNDY, C. KEMPENAAR, M.M. RIEMENS, A. VERSCHWELE UND D. HANSSON, 2009: WEED OCCURRENCE ON PAVEMENTS IN FIVE NORTH EUROPEAN TOWNS. WEED RESEARCH **49**, 516–525.
- RASK A.M. UND P. KRISTOFFERSEN, 2007: A REVIEW OF NON-CHEMICAL WEED CONTROL ON HARD SURFACES. WEED RESEARCH **47**, 370–380.
- REICHEL F., 2003: EXPERIENCES WITH THERMAL AND CHEMICAL WEED CONTROL METHODS (WEED CLEANER, WAIPUNA, ROTOFIX) ON PAVED AREAS UNDER PRACTICAL CONDITIONS. IN: BALDER, H., K.-H. STRAUCH UND G.F. BACKHAUS (HRSG.), SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT HEALTH IN URBAN HORTICULTURE. 155–165. BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND UND FORSTWIRTSCHAFT, BERLIN.
- VERSCHWELE, A., U. STECK, B. AUGUSTIN UND P. BOAS, 2008: WIRKSAMKEIT UND OPTIMIERUNG DES ROTOFIX-VERFAHRENS. MITTEILUNGEN AUS DEM JULIUS KÜHN-INSTITUT, HEFT **417**, 483–484.
- WITTIG, R., 2008: STADTVEGETATION. VERLAG EUGEN ULMER KG, 252 PP.
- ZWARGER, P., T. EGGERS, G. PREUSSENDORFF UND A. VERSCHWELE, 2000: ZUR SITUATION DER UNKRAUTBEKÄMPFUNG IM URBANEN BEREICH, STADT UND GRÜN, SONDERHEFT **13**, 54–60.

## Control of *Chenopodium album* L. utilizing two plant pathogenic fungi in combination with reduced doses of nicosulfuron

*Bekämpfung von Chenopodium album* L. mit Hilfe von zwei pflanzen-pathogenen Pilzen in der Kombination mit reduzierten Aufwandmengen von Nicosulfuron

Derya Ögüt<sup>1\*</sup>, M. Nedim Doğan<sup>1</sup> & Gerhard Einhorn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, Aydin, Turkey

<sup>2</sup> Rhinstrasse 13, 10315 Berlin, Germany

\*Corresponding author, dogut@adu.edu.tr

DOI: 10.5073/jka.2012.434.035

### Summary

Although biological control agents provide satisfactory weed control in solely few cases, they should be considered as a part of integrated weed management (IWM) strategy in most cases. Using herbicides in reduced doses became an important strategy within the concept of IWM. Therefore, a combination of biological control agents and reduced herbicide doses could be considered as a good strategy for controlling some important weeds. Studies were carried out in 2008-09 to investigate the efficacy of a combination of Motivell (nicosulfuron) in reduced doses and two plant pathogenic fungi (*Ascochyta caulina* and *Stagonospora vitensis*) for the control of *Chenopodium album*. First, ED<sub>50</sub> dose of Motivell for *C. album* was determined by four dose-response experiments conducted in pots. In the second step of the study nicosulfuron tolerance of fungi was determined in three experiments in petri dishes. At the last step six different pot experiments were carried out on *C. album* to evaluate the efficacy of reduced herbicide rates and fungi spores alone or in combination. The studies showed that the dose corresponding ED<sub>50</sub> was about 12.5 % of the recommended dose. Doses up to 50 % of the recommended did not affect fungi growth under laboratory conditions, so that a combination was possible. Fungi treatments alone provided no effect in most cases. In 3 of 6 experiments, herbicide at 12.5 %-dose in combination with fungi treatments provided higher effects than 12.5 %-dose alone. Application of 25 % nicosulfuron dose alone was highly effective so that there is no need for a combination with biological control agents. It can be concluded that the combination of biological control agents with reduced herbicide doses could be an effective alternative in suppressing *C. album* under optimal climatic conditions.

**Keywords:** *Ascochyta caulina*, biological control, *Chenopodium album*, Motivell, nicosulfuron, *Stagonospora vitensis*

### Zusammenfassung

Die biologische Unkrautbekämpfung könnte ein wichtiges Verfahren sein, aber ihr Erfolg war bei den bisherigen Versuchen durch einige Faktoren begrenzt. Obwohl biologische Methoden in einigen Fällen eine ausreichende Unkrautbekämpfung bewirkten, sollten sie eher als ein Teil der integrierten Unkrautbekämpfung (IWM) betrachtet werden. Die Anwendung reduzierter Herbizidaufwandmengen ist ein fester Bestandteil des IWM, so dass deren kombinierte Anwendung mit spezifischen Pflanzenpathogenen als künftige Bekämpfungsstrategie gegenüber wichtigen Unkrautarten zu untersuchen ist. Mit diesem Ziel wurden 2008-2009 Untersuchungen zur Wirkung von reduzierten Motivell-Aufwandmengen in Kombination mit zwei Pflanzenpathogenen (*Ascochyta caulina* und *Stagonospora vitensis*) auf *Chenopodium album* durchgeführt. Zuerst wurde die ED<sub>50</sub> von Motivell unter Anwendung von vier Aufwandmengen in Topfversuchen ermittelt. Im zweiten Schritt wurde die Toleranzgrenze der untersuchten Pilze gegenüber Nicosulfuron in drei Untersuchungen auf Nährboden in der Petrischale festgestellt. In insgesamt sechs Topfversuchen wurde dann die alleinige und kombinierte Anwendung von Motivell und Suspensionen der Pilzsporen gegenüber *C. album* geprüft. Als ED<sub>50</sub> wurden 12,5 % der zugelassenen Aufwandmenge von Motivell festgestellt. Da erst Motivell-Aufwandmengen über 50 % das Pilzwachstum beeinflussten, waren Kombinationen bis zu 25 % der Herbizidkonzentration ohne Einfluss auf die Pilze. Die 12,5 %ige Aufwandmenge plus Pilzsporen zeigte in drei von sechs Versuchen eine bessere Wirkung als das Herbizid allein. Die alleinige Anwendung von Motivell 25 % hatte jedoch eine stärkere Wirkung als die 12,5 %ige plus Pilz, womit durch diese Ergebnisse der Sinn einer Kombination in Frage gestellt werden kann. Daraus schlussfolgernd sollte man trotzdem für die Zukunft die Möglichkeit einer Kombination reduzierten Herbizidaufwands mit geeigneten Pflanzenpathogenen nicht ausschließen und die Untersuchungen fortführen.

**Stichwörter:** *Ascochyta caulina*, biologische Kontrolle, *Chenopodium album*, Motivell, Nicosulfuron, *Stagonospora vitensis*

## 1. Introduction

Using plant pathogenic microorganisms for weed control became an important alternative weed control strategy which has been investigated since the last 30 years in Europe. In some studies the possibilities for using microorganisms for selective weed control have been investigated (EGGERS and THUN, 1988; KEMPENAAR, 1995; KEMPENAAR and SCHEEPENS, 1996; NETLAND et al., 2001). Results of these studies showed that *C. album* could be effectively suppressed by *Ascochyta caulina* under controlled conditions, while the success of this control was lower under field conditions. This could be attributed to climatic conditions (EINHORN, 2002) as well as the formulation and application techniques (CHARUDATTAN, 2001).

Based on this information, it can be concluded that biological weed control could fail in effectiveness when applied alone, but still microorganisms should be considered as an important factor within the frame of integrated weed management strategy (IWM). Using herbicides in reduced doses has been widely investigated so far and as a result it was approved that low dose treatments may provide satisfactory weed control in most cases. However, efficacy of reduced herbicide doses is also dependent on some factors, such as weed species sensitivity, growth stage as well as climatic conditions (DOGAN and HURLE, 1998; KUDSK and STREIBIG, 2003).

Therefore, it is reasonable to evaluate the efficacy of a combination of these two methods for weed control. *Chenopodium album* L. is a worldwide important weed species which is difficult to control with herbicides. In some previous studies carried out on the biological control of this weed in Europe, the fungus *Ascochyta caulina* has been found to be promising for the control of this weed (KEMPENAAR, 1995; NETLAND et al., 2001; VURRO et al., 2001). However, the efficacy of this fungus was variable depending on the conditions named above. Thus, the aim of the studies here presented was to establish a control strategy of *C. album* by means of *Ascochyta caulina* in combination with reduced doses of nicosulfuron. Furthermore another potential biocontrol agent fungus, namely *Stagonospora vitensis* has been used in the studies, which was isolated from *C. album* and used in some previous experiments (EINHORN, 2002).

## 2. Materials and methods

Experiments were carried out at the Department of Agronomy of the Faculty of Agriculture and Horticulture, Humboldt-University Berlin, between September 2008 and March 2009. Studies were conducted in three steps: 1) dose-response experiments to determine the appropriate herbicide dose for mixture with fungi, 2) evaluation of fungi (*Ascochyta caulina* and *Stagonospora vitensis*) tolerance to herbicide, and 3) assessment of the effect of herbicide-fungi mixture on *C. album*.

### 2.1 Dose-response experiments

These studies were conducted as pot experiments under greenhouse conditions. Seeds of *C. album* were sown into trays containing a growing medium (turf, soil, perlite). After emergence, three *C. album* seedlings at cotyledon stage were transferred into each pot containing the same medium. The pots were placed in a greenhouse with a light regime of 15/9 h (daytime and night, respectively) in which average temperature was 22 °C. The *C. album* plants were grown under these conditions until herbicide application and pots were watered when required. At 2-4 leaf stage of *C. album*, the pots were sprayed with eight different doses of nicosulfuron as formulated herbicide Motivell. Treatments were done by hand operated sprayer with a water volume of 200 l/ha. The doses applied were 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 and 1.0 l/ha Motivell, each with four replications.

To assess the efficacy of different herbicide rates, as well as to describe dose-response relationship, above ground part of weeds were harvested two weeks after application. ED<sub>50</sub> values of herbicide were determined based on visual observation, fresh and dry weed biomass via four parameter logistic non linear regression analysis by using sigma Plot Package (MICHEL et al., 1999). These experiments were replicated four times.

## 2.2 Determination of fungi tolerance to herbicide

As the second step of the study, the tolerance of two fungi species to nicosulfuron was determined. With this aim, laboratory experiments were conducted in petri plates (9 cm) with four replications for each treatment to test if nicosulfuron has an adverse effect on fungi growth. The growing medium was potato dextrose agar, PDA, containing Motivell. First PDA was prepared and then the herbicide was mixed into the medium when it was cooled down to 60 °C. Motivell was mixed to the PDA medium at two different concentrations corresponding the recommended and half dose. After the PDA medium with nicosulfuron became solid, discs (each 5 mm in diameter) of each fungus were placed in the centre of the petri plates. As a control treatment, petri plates containing PDA without herbicide were used. All petri plates were incubated at 20 °C and UV light (12 hours light, 12 hours dark) and checked weekly for the presence of mycelial growth, and at each observation the diameter of fungi colonies were measured and recorded. Final evaluation was done three weeks after the beginning of experiment. Colonial diameters were submitted to analysis of variance (one way ANOVA) by using Statgraphics package.

## 2.3 Effect of the plant pathogenic fungi in combination with nicosulfuron

To evaluate the efficacy of reduced nicosulfuron rates and biocontrol agents as well as their combination on *C. album*, six different pot experiments were conducted under greenhouse conditions (Tab. 1). *C. album* plants were grown as described for dose-response experiments (chapter 2.1). In order to assess the influence of weed growth stage, *C. album* plants were treated at 2-4 leaf stages in three experiments and at 4-6 leaf stages in further three experiments.

**Tab. 1** Motivell (nicosulfuron) and fungi treatments as well as the combinations.

**Tab. 1** *Behandlungsvarianten mit den Pilzen und Motivell (Nicosulfuron).*

1	Control
2	<i>Ascochyta caulina</i> alone
3	<i>Ascochyta caulina</i> + Motivell 12.5 %
4	<i>Ascochyta caulina</i> + Motivell 25 %
5	<i>Stagonospora vitensis</i> alone
6	<i>Stagonospora vitensis</i> + Motivell 12.5 %
7	<i>Stagonospora vitensis</i> + Motivell 25 %
8	Motivell 12.5 % alone
9	Motivell 25 % alone
10	Motivell 50 % alone

Motivell was used at three different doses in the experiments. Since results from dose-response experiments showed that the ED<sub>50</sub> values for 2-4 leaf stage plants were between 10-15 % of the recommended dose, 12.5 % of the recommended dose has been decided as a mixing partner with fungi. Also the efficacy of quarter dose alone or in combination with fungi was assessed. Half herbicide dose alone was used in the experiments for comparison.

Spores of *Ascochyta caulina* and *Stagonospora vitensis* were used in the experiments for inoculation, which were derived from two weeks old PDA and wheat bran medium, respectively. To obtain spores of *A. caulina* 10 ml sterile distilled water containing 0.05 % Tween 80 was given to petri plates. After flooding for 3 hours, the PDA surface was incised by a spatula and suspended spores were collected. Spores of *S. vitensis* were obtained by suspending wheat bran by sterile distilled water containing Tween 80 (0.05 %) and the bran medium mixture was broken by using a mixer. Spore numbers were counted by using THOMA chamber under light microscope. Fungi spore concentrations for the experiments were adjusted to 2.2 x 10<sup>6</sup> spores/ml for *A. caulina* and 1.6 x 10<sup>6</sup> spores/ml for *S. vitensis*.

Herbicide and fungi treatments have been conducted as mentioned in dose-response experiments (chapter 2.1). All treatments were replicated with two pots, each containing three *C. album* plants. Since it was to estimate that the fungi activity would be better on affected plants, the herbicide mixtures were applied three hours before the fungi spore treatments. After spraying fungi spores, pots were kept under plastic sheets for 24 hours to maintain optimal humidity condition for spore germination and plant infection. After this period plants were grown under normal greenhouse conditions. After 11 days, above ground parts of all plants were harvested and their fresh and dry weights were determined.

To be able to compare all experimental results with each other, both fresh and dry weight data were converted to percent in relation to control and analysis of variance was performed. Data was analyzed by using GLM, and means were separated by using Duncan-test. Only results based on percent dry weight data are reported here.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Dose-response experiments

These experiments were conducted to determine the herbicide dose causing moderate weed damage (50 %) that would be considered as the mixing partner with fungi. Since the analysis of variance showed that the experiment factors and related interactions were not significant, data from four experiments were pooled and jointly submitted to dose-response analysis.

**Tab. 2** ED<sub>50</sub> of Motivell (nicosulfuron) for *Chenopodium album* depending on observation parameters.

**Tab. 2** ED<sub>50</sub> von Motivell (Nicosulfuron) für *Chenopodium album* je nach Messparameter.

Observation parameter	ED <sub>50</sub> (ml/ha)*	b
Visual observation	149.8 ± 6.9	1.64 ± 0.13
Fresh weight	103.0 ± 1.9	2.6 ± 0.14
Dry weight	114.0 ± 1.5	1.53 ± 0.03

\* Average of 4 dose-response experiments, ± Standard error of estimated parameters

As shown in Table 2, the ED<sub>50</sub> doses of Motivell for *C. album* were defined between 100 and 150 ml/ha depending on the observation corresponding about 10-15 % of the recommended Motivell dose. Therefore, 12.5 % of the recommended dose was chosen for the further studies, in which the effect of herbicide fungi concentrations was investigated.

#### 3.2 Determination of fungi tolerance to herbicide

The mycelia growth of the fungi as affected by different Motivell treatments was evaluated by comparing colonial diameters of the fungi on PDA media with and without herbicide supplementation (Tab. 3). Results showed that nicosulfuron had no significant effect on the growth of *A. caulina*, so that the herbicide can be mixed with these fungus spores or can be sprayed before *A. caulina* spore application respectively even at the recommended dose. Although not statistically significant, it is noteworthy that the growth of this fungus was even higher (by 20 %), when grown on medium having received half herbicide dose. In the case of *S. vitensis*, addition of half dose of Motivell to the growing medium stimulated fungus growth significantly (by 39 %). However when the growing medium was supplemented with the recommended dose, the growth of *S. vitensis* was significantly inhibited, so that the colonial diameter of the fungus was 61 % lower as compared to the untreated control.

These results suggest that the Motivell concentrations used in these experiments (12.5 and 25 % of the recommended dose) as mixing partner with potential biocontrol fungi had no negative effect on the fungi, so that both components were compatible.

**Tab. 3** Mycelial growth of *Ascochyta caulina* and *Stagonospora vitensis* on PDA medium containing Motivell.

**Tab. 3** Myzelwachstum von *Ascochyta caulina* und *Stagonospora vitensis* auf PDA-Medium mit Motivell.

Treatments	Diameter (mm)			Diameter (mm)		
	<i>A. caulina</i>	%**		<i>S. vitensis</i>	%**	
Untreated	69.75 ± 0.63*	100	a	57.00 ± 6.35*	100	b
Nicosulfuron 50 %	85.00 ± 0.00	122	a	79.50 ± 2.10	139	a
Nicosulfuron 100 %	75.00 ± 0.82	108	a	22.25 ± 4.85	39	c

\*Standard error, \*\*% growth of *A. caulina* and *S. vitensis* mycelia growth as compared to control

### 3.3 Effect of the plant pathogenic fungi in combination with nicosulfuron on *C. album*

In Table 4 relative biomass of *C. album* plants affected by different treatments are shown. Since statistical analysis showed that the experimental factors were significant, results from all experiments are presented separately. When the fungi were applied alone (without herbicide) they provided in most experiments no effect on the weed. *A. caulina* alone reduced weed biomass by about 45-50 % only in the two experiments and *S. vitensis* reduced relative weed biomass by 48 % only in one experiment. Motivell at 12.5 % of the recommended dose provided different weed control scores ranging between 0 and 76 %. Combination of fungi with this dose improved the control in most experiments, however, that was especially apparent in the case of the experiments 3, 4 and 6 when 12.5 % dose treatment alone provided poor weed control. Statistically significant improvement of weed control was observed only in two experiments with *A. caulina* (experiments 4 and 6) and with *S. vitensis* (experiments 2 and 6). Quarter dose of Motivell provided in most experiments (except for 6<sup>th</sup> experiment) high weed control efficacy comparable to the effect achieved by half dose of herbicide. So fungi addition did not improve the weed control by this dose. In all cases there were no statistically significant differences among weed control scores obtained at this dose alone and in combination with fungi. Although it was not statistically significant there was still improved weed control of this dose with *A. caulina* addition in the 4<sup>th</sup> experiment and *S. vitensis* addition in the 3<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> experiments.

**Tab. 4** Efficacy [%] of *A. caulina* and *S. vitensis* alone or in combination with Motivell on *C. album*.

**Tab. 4** Wirksamkeit [% Trockenmasse] von *A. caulina* und *S. vitensis* allein oder in Kombination mit Motivell auf *C. album*.

% dry weight	Experiment number					
	1	2	3	4	5	6
	treated at 4-6 leaf stage			treated at 2-4 leaf stage		
Untreated	100 ab	100 b	100 ab	100 a	100 a	100 abc
Nicosulfuron 12.5 %	47 bc	33 cd	80 abc	98 a	24 b	130 ab
Nicosulfuron 12.5 % + <i>A. caulina</i>	38 bc	20 d	28 cde	10 b	34 b	47 cde
Nicosulfuron 12.5 % + <i>S. vitensis</i>	34 bc	14 d	67 bcd	128 a	27 b	34 de
Nicosulfuron 25 %	11 c	6 d	15 de	15 b	13 b	54 cde
Nicosulfuron 25 % + <i>A. caulina</i>	21 c	11 d	19 de	5 b	25 b	43 cde
Nicosulfuron 25 % + <i>S. vitensis</i>	34 bc	14 d	4 e	21 b	12 b	13 e
<i>A. caulina</i> alone	102 ab	56 c	101 ab	125 a	52 b	143 a
<i>S. vitensis</i> alone	163 a	138 a	132 a	97 a	52 b	79 bcd
Nicosulfuron 50 %	12 c	10 d	5 e	5 b	17 b	53 cde

The main objective of this study was to evaluate the performance of two phytopathogenic fungi species in suppressing *C. album*, alone or in combination with reduced herbicide doses. Thus, the study was conducted at three steps: The first step concerned the determination of the herbicide rate to be used, the second step the evaluation of the fungi tolerance to herbicides and the third step was related to the main part of the study. Results of our studies showed that both fungi alone provided no or no sufficient efficacy in suppressing the target weed in all experiments. Although it is stated that *A. caulina* is an important potential mycoherbicide for *C. album* control (KEMPENAAR et al., 1996; NETLAND et al., 2001), they pointed out that the efficacy of this fungus is dependent on wetness period, spore numbers applied, plant development stages and temperature. Since all these factors are more related to the penetration ability of fungi into healthy plant tissues, it can be assumed that a combination of the fungi with reduced herbicide rates would be able to improve the efficacy of fungi, because penetration might be easier into affected plant tissues. With this aim herbicide and fungal spores were not sprayed simultaneously in a mixed formulation as in the studies of KEMPENAAR and SCHEEPENS (1996) and MÜLLER-SCHÄRER (2002). To have a synergistic effect between herbicide and fungal spores, the herbicide was sprayed in our studies 3 hours prior to fungal spore treatment. MITCHELL et al. (2008) found in a similar study for control of *Sorghum bicolor* with *Colletotrichum* species in combination with glyphosate that the herbicide treatment should be done prior to spraying spores to optimize the effectiveness of the combination.

Our results showed that combination treatments have increased weed control efficacy as compared to sole herbicide treatment, and in few cases this increase was significant. This was especially apparent with 12.5 % of the recommended Motivell dose. In some other studies concerning the control of *C. album* with fungi species, it was also found that a combination of potential biocontrol agents and herbicides provided higher weed control efficacy, as compared to sole herbicide treatments (NETLAND et al., 2001; VURRO et al., 2001). Since the increase in the efficacy of 12.5 % dose via addition of fungi treatments was especially observed in cases where this dose alone provided no weed control (experiments 3, 4 and 6), it seems that such combination could support the herbicide efficacy under conditions in which the herbicide fails. In cases where the herbicide effect is high, it can be possible that high efficacy masks the stimulatory effect of the fungi.

It can be concluded that the combination of two specific pathogenic fungi with reduced herbicide doses could be an effective alternative in suppressing *C. Album*. However, further studies are needed to make a concrete decision.

Based on the results here and other studies published in the literature, following points should be also considered in further studies:

- using fungi with different herbicide doses,
- using pathogen spores in higher concentrations,
- prolonging wetness period for improved pathogen penetration,
- broadening the interval between herbicide application and spore treatments to spray spores on more effected plants.

To achieve more realistic results, such experiments should also be carried out under field conditions.

### Acknowledgements

We are grateful to the head of the Department of Agronomy, Prof. Dr. Dr. h.c. Frank ELLMER, for hospitality and technical support.

### References

- CHARUDATTAN, R., 2001: BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS BY MEANS OF PLANT PATHOGENS: SIGNIFICANCE FOR INTEGRATED WEED MANAGEMENT IN MODERN AGRO-ECOLOGY. *BIOCONTROL* 46, 229–260.
- DOGAN, M.N. AND K. HURLE, 1998: INFLUENCE OF GROWTH STAGE AND ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE EFFICACY OF REDUCED DOSES OF TRIBENURON-METHYL (POINTER) ON *CHENOPODIUM ALBUM* L. *ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ SONDERHEFT XVI*, 637-679.



- EGGERS, T. AND K. THUN, 1988: BIOLOGISCHE BEKÄMPFUNG VON *CHENOPODIUM ALBUM* MIT *ASCOCHYTA CAULINA*. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ 11, 225-237.
- EINHORN, G., 2002: FREILANDVERSUCHE ZUR BIOLOGISCHEN BEKÄMPFUNG VON WEIßEM GÄNSEFUß (*CHENOPODIUM ALBUM* L.) MIT PATHOGENEN PILZEN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ SONDERHEFT XVIII, 615-623.
- KEMPENAAR, C. AND P.C. SCHEEPENS, 1996: BIOLOGICAL CONTROL OF *CHENOPODIUM ALBUM* L. WITH *ASCOCHYTA CAULINA* VAN DER AA AND VAN KESTEREN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ SONDERHEFT XV, 379-383.
- KEMPENAAR, C., P.J.F.M. HORTSEN AND P.C. SHEEPENS, 1996: SPORE GERMINATION AND DISEASE DEVELOPMENT AFTER APPLICATION OF PYCNIDIOSPORES OF *ASCOCHYTA CAULINA* TO *CHENOPODIUM ALBUM* PLANTS. EUROPEAN JOURNAL OF PLANT PATHOLOGY 102, 143-153.
- KEMPENAAR, C., 1995: STUDIES ON BIOLOGICAL CONTROL OF *CHENOPODIUM ALBUM* BY *ASCOCHYTA CAULINA*. GRADUATION, LANDBOUW UNIVERSITEIT TE WAGENINGEN, 120 P.
- KUDSK, P. AND J.C. STREIBIG, 2003: HERBICIDES - A TWO-EDGED SWORD. WEED RESEARCH 43, 90-102.
- MICHEL, A., J. PETERSEN, M.N., DOĞAN AND E. ERNST, 1999: ANLEITUNG ZUR ANLAGE UND AUSWERTUNG VON VERSUCHEN ZUR ERSTELLUNG QUANTITATIVER DOSIS-WIRKUNGSBEZIEHUNGEN AM BEISPIEL DER WIRKSAMKEIT VON HERBIZIDEN. GESUNDE PFLANZEN 51, 10-19.
- MITCHELL, J.K., C.N. YERKES., S.R. RACINE AND E.H. LEWIS, 2008: THE INTERACTION OF TWO POTENTIAL FUNGAL BIOHERBICIDES AND A SUB-LETHAL RATE OF GLYPHOSATE FOR THE CONTROL OF SHATTERCANE. BIOLOGICAL CONTROL 46, 391-399.
- MÜLLER-SCHÄRER, H., 2002: BIOLOGISCHE VERFAHREN. IN: ZWERGER, P. UND H.U. AMMON (EDS.), UNKRAUT: BIOLOGIE UND BEKÄMPFUNG, PP. 118-131. ULMER VERLAG, STUTTGART.
- NETLAND, J., L.C. DUTTON, M.P. GREAVES, M. BALDWIN, M. VURRO, A. EVIDENTE, G. EINHORN, P.C. SCHEEPENS AND L.W. FRENCH, 2001: BIOLOGICAL CONTROL OF *CHENOPODIUM ALBUM* L. IN EUROPE. BIOCONTROL 46, 175-196.
- VURRO, M., M.C. ZONNO, A. EVIDENTE, A. ANDOLFI AND P. MONTEMURRO, 2001: ENHANCEMENT OF EFFICACY OF *ASCOCHYTA CAULINA* TO CONTROL *CHENOPODIUM ALBUM* BY USE OF PHYTOTOXINS AND REDUCED RATES OF HERBICIDES. BIOLOGICAL CONTROL 21, 182-190.



## The effect and dynamics of weed competition on maize in Germany and Benin

*Wirkung und Dynamik der Unkrautkonkurrenz auf Mais in Deutschland und Benin*

Martina Keller\*, Geoffroy Gantoli, Alexandra Kipp, Christoph Gutjahr & Roland Gerhards  
University of Hohenheim, Department of Weed Science, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart, Germany

\*Corresponding author, Martina.Keller@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.036

### Summary

Four field experiments were carried out in maize at one location in Southern Germany (2009 and 2010) and at two locations in West Atacora, Benin (2010), to determine and compare the effect and dynamics of weed competition under two different environments. Further aims were to determine the critical period for weed control in Benin to provide recommendations to farmers on weed control strategies. Weeds were removed at different crop growth stages of the crop: Emergence, 4-, 8-, 10-leaf stage and flowering and maize plots were kept weed-free until harvest. In Benin, weeds were additionally removed until the aforementioned growth stages and then allowed to reemerge until harvest. Crop growth parameters and weed biomass were monitored over the whole growing season. Dry grain yield was recorded at harvest. Logistic and Gompertz equations were used to determine the critical period for weed control. The four main weeds in Germany were the dicotyledonous species *Chenopodium album*, *Galium aparine*, *Stellaria media* and *Capsella bursa-pastoris*. In Benin, the two grasses *Setaria pumila* and *Bulbostylis hispidula* and the two dicotyledonous weeds *Stachytarpheta indica* and *Mitracarpus villosus* prevailed. For all sites, the main weeds were primarily annual species. In Germany, grain yield levels without weed competition ranged from 8.5 to 10.3 t/ha; in Benin the average yield was considerably lower (3.4 t/ha). As expected, yield loss increased significantly with duration of weed competition and yield losses were highest in the control amounting to 49–86 % (Germany) and 38–58 % (Benin). For Benin, the results confirmed that weeds have to be controlled from about the 4-leaf stage until almost flowering to reduce yield loss below 20 %. As weed control is mainly done by hand, this is difficult to achieve due to the shortage of family labor and the high costs of hired labor.

**Keywords:** Critical period for weed control, crop-weed interaction, Gompertz curve, logistic curve, non-linear regression, yield loss

### Zusammenfassung

Vier Feldversuche wurden an einem Standort in Süddeutschland (2009-2010) und an zwei Standorten in West Atacora, Benin (2010), durchgeführt, um den Effekt und die Dynamik der Unkrautkonkurrenz auf die Kulturpflanze Mais in zwei verschiedenen Umgebungen zu bestimmen und zu vergleichen. Weitere Ziele waren die Bestimmung des kritischen Zeitintervalls für die Unkrautbekämpfung in Mais im Benin um die Beratung der Landwirte im Benin zu verbessern. Die Unkräuter wurden von einem bestimmten Wachstumsstadium der Kulturpflanze an entfernt: Auflauf, 4-, 8-, 10-Blattstadium und Blüte und die Parzellen wurden dann bis zur Ernte unkrautfrei gehalten. Im Benin wurden zusätzlich die Unkräuter bis zu den entsprechenden Wachstumsstadien entfernt, danach auflaufende Unkräuter wurden bis zur Ernte nicht mehr entfernt. Wachstumsparameter der Kulturpflanzen und die Unkrautbiomasse wurden während der Vegetationszeit beobachtet. Der Kornertrag wurde bei der Ernte bestimmt. Logistische und Gompertz-Gleichungen wurden zur Bestimmung der zeitbezogenen Schadensschwelle verwendet. In Deutschland waren die vier dikotylen Leitunkräuter *Chenopodium album*, *Galium aparine*, *Stellaria media* und *Capsella bursa-pastoris*. Dagegen dominierten im Benin die zwei Ungräser *Setaria pumila* und *Bulbostylis hispidula* sowie die zweikeimblättrigen Unkräuter *Stachytarpheta indica* und *Mitracarpus villosus*. In allen Versuchen dominierten einjährige Unkräuter. In Deutschland lagen die Erträge ohne Unkrautkonkurrenz zwischen 8.5 t/ha (2010) und 10.3 t/ha (2009), im Benin lag der durchschnittliche Ertrag deutlich tiefer (3.4 t/ha). Wie erwartet, stieg der Ertragsverlust mit zunehmender Dauer der Unkrautkonkurrenz an. Er war in der Kontrolle am höchsten und lag zwischen 49-86 % in Deutschland und 38-58 % im Benin. Für Benin zeigen die Ergebnisse, dass Unkräuter etwa vom 4-Blattstadium bis beinahe zur Blüte bekämpft werden müssen, um den Ertragsverlust unter 20 % zu halten. Da die Unkrautbekämpfung vor allem von Hand erfolgt, ist dies schwierig zu erreichen, da die Arbeitszeit der Familien begrenzt und die Lohnkosten für Arbeiter relativ hoch sind.

**Stichwörter:** Ertragsverlust, Gompertz-Gleichung, logistische Gleichung, nicht lineare Regression, Unkraut-Kulturpflanzen-Interaktion, zeitbezogene Schadensschwelle

## 1. Introduction

Maize is the most important crop in terms of tons of grain produced worldwide (ANONYMOUS, 2010a). In general, weeds can cause high yield losses in crops. OERKE (2005) estimated that the potential yield losses caused by weeds amount to 34 %. In maize, an effective weed control is indispensable because of its low competitiveness in early growth stages at least in temperate climates. In Europe, weed control in maize is mainly conducted with herbicides. As maize plants become more susceptible to herbicides from the 6-leaf stage onwards due to changes in the leaf surface structure, herbicides are applied early (BÄR et al., 2010). Whereas in Germany, maize is mainly produced for fodder (silage and grain) (ANONYMOUS, 2010a), in Benin, maize is of high importance as a main staple food crop and is the third most important food crop after cassava and yam (ANONYMOUS, 2003). In spite of its alimentary and economical importance in Benin, the grain yield of maize is still very low (around 1.4 t/ha) (ANONYMOUS, 2010b). VISSOH (2004) identified poor weed control as one of the main constraints. According to AKOBUNDU (1987), yield losses are almost about 40-60 % in maize fields without weed control in tropical regions. Weed control is primarily done by hoeing (HARSH, 2004). In Benin, few studies have addressed the effect and dynamics of weeds in maize. Better understanding of this topic could help farmers to increase yields.

The critical period for weed control or the critical period of weed interference was defined by SWANTON and WEISE (1991) as the time period, when it is crucial to maintain the field weed-free to prevent yield loss. This period depends on different factors such as planting pattern, weed species and environmental conditions (SWANTON and WEISE, 1991). Therefore, the determination of the critical period for weed control for Benin is important, as the combination of these factors may be different compared to environments where the critical period for weed control has already been determined. In addition, the determination of the critical period for weed control could be especially helpful to schedule weeding when it is most effective and therefore reduce time of weeding and unburden women and children. Thus, the aim of this study was to examine the effect and dynamics of weeds on yield in maize and to determine the critical period for weed control. Similar field trials were carried out in Germany to allow for comparison between a high input (fossil fuel, fertilizer, pesticides) system in temperate climate and the low input, tropical system in Benin.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Experimental sites

Two field experiments were carried out at Ihinger Hof (48°74' North, 8°93' East), a research station of the University of Hohenheim, Germany, during 2009 and 2010. The climate is temperate with an average annual temperature of 8.1 °C and average rainfall of 694 mm per year. Both experiments were carried out on two nearby fields. The soil type of both fields was a para-brown soil (Luvisol). Maize was sown at a density of 85'000 seeds/ha of Companero (a variety for grain production) on April 21<sup>st</sup> 2009 and Ravello (a variety for grain, silage and biogas production) on April 21<sup>st</sup> 2010. Row spacing was 0.75 m and seed spacing was 15.6 cm. Nitrogen (N) was applied as urea at a rate of 150 kg N/ha in 2009 and 140 kg N/ha in 2010. Two experimental sites, Djougou (10°14' North, 1°23' East) and Natitingou (10°19' North, 1°23' East), were chosen in Benin after a survey including 105 farms in seven districts. The survey was carried out to get an overview of the most important weeds in the region and results will be published elsewhere. The two sites are located in the North Western part of the country, the West Atacora zone, and were selected according to the weed infestation, which aimed to be characteristic for the region, and the farmers' acceptance and ability to participate in the field experiments. The climate at both sites is tropical with one rainy season from May to October, corresponding also to the growing season of maize and other crops. Annual rainfall in Djougou is approximately 1200 mm on average and 1150 mm in Natitingou. Highest rainfall is expected in August and September. The soil at both sites is a ferruginous tropical soil. Maize was sown at a seed density of 79000 seeds/ha after the first rain, in Djougou on June 10<sup>th</sup> 2010 and on June 22<sup>nd</sup> 2010 in Natitingou. Row spacing was 0.75 m and seed spacing was 0.40 m. To be in accordance with regional farming practices, two seeds were placed together in each hole. A composite variety called DMR-ESRW (downy mildew and streak resistant, early maturing, white-open

pollinated variety), which is common to the farmers of the region for grain production and has a short growing cycle, was used. Fertilization was conducted two times according to the recommendations of the agricultural extension service: first, 200 kg/ha of NPKSB (14-23-14-5-1) two weeks after sowing and one month later N was applied as urea at rate of 46 kg N/ha. All management practices were carried out manually.

## 2.2 Experimental design

The field trials had a randomised complete block design (RCBD) with four repetitions. Plot size was 3 m (4 maize rows) by 16 m, whereas each plot was divided into two subplots in size of 3 m by 7.5 m, one for data collection during the growth period and the other for harvesting. In the trial in Germany in 2009, the following treatments were included: Continuously weed-free (WF), weedy until 4-leaf stage (WU4L), weedy until 8-leaf stage (WU8L) and an untreated control, which was never weed-free referred to as weedy (W; Tab. 1).

For the experiment in 2010 in Germany, a further treatment, weedy until flowering (WUF), was included. In Benin, the following treatments were carried out in addition: Weed-free until 4-leaf stage (WFU4L), weed-free until 8-leaf stage (WFU8L), weed-free until 10-leaf stage (WFU10L) and weed-free until flowering (WFUF) (Tab. 1). Weeds were removed by careful pulling, cutting and shallow hoeing to avoid any effect due to nutrient mineralisation.

**Tab. 1** Overview of the different treatments, abbreviation, description and in which trial they have been carried out.

**Tab. 1** *Übersicht über die verschiedenen Versuchsglieder, Abkürzungen und Beschreibung sowie in welchen Versuchen sie durchgeführt wurden.*

Treatment	Description	Carried out in
W	Weedy, untreated control	Benin, Germany
WU4L	Weedy until 4-leaf stage	Benin, Germany
WU8L	Weedy until 8-leaf stage	Benin, Germany
WU10L	Weedy until 10-leaf stage	Benin, Germany
WUF	Weedy until flowering	Benin, Ihinger Hof 2010
WF	Continuously kept weed-free	Benin, Germany
WFU4L	Weed-free until 4-leaf stage	Benin
WFU8L	Weed-free until 8-leaf stage	Benin
WFU10L	Weed-free until 10-leaf stage	Benin
WFUF	Weed-free until flowering	Benin

## 2.3 Data collection

In Benin, the dry biomass ( $\text{g/m}^2$ ) of entire crop plants (inclusive main roots which remained on the plant after pulling it from the soil), dry biomass ( $\text{g/m}^2$ ) of weeds and the weed coverage (%) were recorded at the 8-leaf, 10-leaf and flowering stage of the crop. The weed coverage of single weeds was determined according to the scale of Braun-Blanquet at the 10-leaf stage. There are six levels of weed cover classes used in this method: 0-1 %, 1-5 %, 5-25 %, 25-50 %, 50-75 % and above 75 % weed cover. In the experiment at Ihinger Hof in 2009, dry above-ground biomass of the maize plants at the 4-leaf, 8-leaf and 10-leaf stage of the crop and weed density or weed coverage at the 4-leaf stage of the crop were determined. In the experiment at Ihinger Hof in 2010, dry biomass of maize and weeds was determined at the 4-leaf, 8-leaf, 10-leaf and flowering stage of the crop. Weed coverages were determined at the 4-leaf stage. Occurring weed species were monitored on all sites. Dry grain yield was recorded in Germany using a plot combine harvester. Only the inner two rows were harvested to avoid border effects. In Benin, harvest was done by hand and grain yield was determined at 14 % humidity thereafter. For Benin, weather data was acquired from the closest weather station

(Natitingou, 653190 DBBN, 10°19' North, 1°23' East). For Germany, weather data was provided by the weather station of the Ihinger Hof.

## 2.4 Statistical Analysis

In the field trial in 2010 in Germany, four plots had to be omitted from analyses due to high infestation of thistles (*Cirsium arvense*) and damage by mice. In Djougou, two plots had to be dropped from analyses due to improper use of the scale by the farmer. The statistical analyses were performed using the MIXED procedure from SAS 9.2, using F-tests to test for the effect of the varying periods of weed interference ( $\alpha = 0.05$ ) and a multiple t-test for comparing least square means. The block effect was assumed to be fixed. Non-linear regression was performed with R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009) to derive the critical period for weed control for the two sites in Benin. Growing degree days (GDD) were summed from planting until the day weed competition was removed ('weedy until' treatments). For the 'weed-free until' treatments, GDD were summed from planting until the day weed removal stopped. GDD were calculated as the difference between the average temperature of  $T_{\text{MIN}}$  and  $T_{\text{MAX}}$  of the day and the base temperature ( $T_{\text{BASE}}$ ). As a base temperature, 10 °C were set (MCMASTER and WILHELM, 1997). Below this base temperature, the growth of a plant is restrained. The same weather data were used for both field trials in Benin as temperature is very similar within the region and as the data acquired was from the closest weather station for both field trials. The use of GDD allows transforming the factor treatment to a quantitative dimension, which can then serve as the independent variable for the non-linear regression. After determining the critical period on this scale, recommendations can also be given in terms of leaf stage which is easier to communicate to farmers. We used GDD as explanatory variable for non-linear regression as it is believed to be a more meaningful measure of time for plant growth than for example the number of days after crop emergence. Furthermore, crop development is well correlated with thermal time (GDD) (KNEZEVIC, 2002). The yields of the treatments were calculated relative to the weed-free treatment in the analyses. The Gompertz curve was fitted to the 'weed-free until' treatments (Equation 1). The logistic curve was fitted to the 'weedy until' treatments (Equation 2) (KNEZEVIC, 2002).

$$Y = a \times \exp(-b \times \exp(-k \times T)) \text{ (Equation 1)}$$

$$Y = 100 \left[ \frac{1}{\exp\{c \times (T - d)\} + f} \right] + \left[ \frac{(f - 1)}{f} \right] \text{ (Equation 2)}$$

For Equation 1,  $Y$  denotes the yield relative to the weed-free yield in percent,  $a$  is the yield asymptote,  $T$  is the time expressed in GDD,  $b$  and  $k$  are constants. For Equation 2,  $d$  is the point of inflection in GDD,  $c$  and  $f$  are constants (KNEZEVIC, 2002). Yield and GDD are the input variables for the analyses. Parameters are:  $a$ ,  $b$ ,  $k$ ,  $d$ ,  $c$  and  $f$ . The parameters of each equation and thus the relationship between GDD and relative yield are determined in the non-linear regression analysis by minimisation of the residual sums of squares.

## 3. Results

### 3.1 Weed distribution and weed biomass

In Djougou, the five main weeds (coverage of 5 to 25 % each at 10-leaf stage) were *Setaria pumila*, *Bulbostylis hypsidula*, *Brachiaria villosa*, *Tridax procumbens* and *Spermacoce stachydea* (Tab. 2).

**Tab. 2** Coverage range of the five main weeds in the weedy treatment (control) at 10-leaf stage of maize in Benin for Djougou. In brackets: M = monocotyledonous, D = dicotyledonous, A = annual, P = perennial).

**Tab. 2** *Bereich der Bedeckung der fünf Hauptunkräuter in der ständig verunkrauteten Variante (Kontrolle) zum Zeitpunkt des 10-Blattstadiums von Mais in Benin für Djougou. In Klammern: M = einkeimblättrige, D = zweikeimblättrige, A = einjährige, P = mehrjährige.*

Main weeds	Coverage (%)
Setaria pumila (M, A)	5–25
Bulbostylis hypsidula (M, A)	5–25
Brachiaria villosa (M, A)	5–25
Tridax procumbens (D, A)	5–25
Spermacoce stachydea (D, A)	5–25

In Natitingou, the five main weeds were *Stachytarpheta indica*, *Mitracarpus villosus* and *Oldenlandia herbacea*, *Schwenckia americana* and *Digitario argillacea* (Tab. 3). In Djougou, grass weeds and broadleaved weeds were relevant, whereas in Natitingou four of the five main weeds were grass weeds.

**Tab. 3** Coverage range of the five main weeds in the weedy treatment (control) at 10-leaf stage of maize in Benin for Natitingou. In brackets: M = monocotyledonous, D = dicotyledonous, A = annual, P = perennial.

**Tab. 3** *Bereich der Bedeckung der fünf Hauptunkräuter in der ständig verunkrauteten Variante (Kontrolle) zum Zeitpunkt des 10-Blattstadiums von Mais in Benin für Natitingou. In Klammern: M = einkeimblättrige, D = zweikeimblättrige, A = einjährige, P = mehrjährige.*

Main weeds	Coverage (%)
Stachytarpheta indica (D, A)	5–25
Mitracarpus villosus (D, A)	5–25
Oldenlandia herbacea (D, P)	5–25
Schwenckia americana (D, A)	1–5
Digitario argillacea (M, A)	1–5

At Ihinger Hof 2009, the main weeds were *Chenopodium album*, *Galium aparine*, *Alopecurus myosuroides*, *Stellaria media* and *Lamium purpureum* (Tab. 4), whereas in 2010, *Stellaria media*, *Capsella bursa-pastoris*, *Galium aparine*, *Lamium purpureum* and *Chenopodium album* were the most abundant weeds (Tab. 5).

**Tab. 4** Average weed density of the five main weeds in the weedy treatment (control) in Germany Ihinger Hof 2009 weed density (plants/m<sup>2</sup>). In brackets: M = monocotyledonous, D = dicotyledonous, A = annual, P = perennial.

**Tab. 4** *Durchschnittliche Unkrautdichten (Pflanzen/m<sup>2</sup>) der fünf Hauptunkräuter in der ständig verunkrauteten Variante (Kontrolle) Ihinger Hof 2009. In Klammern: M = einkeimblättrige, D = zweikeimblättrige, A = einjährige, P = mehrjährige.*

Main weeds	Weed density (plants/m <sup>2</sup> )
Chenopodium album (D, A)	46
Galium aparine (D, A)	34
Alopecurus myosuroides (M, A)	16
Stellaria media (D, A)	11
Lamium purpureum (D, A)	11

**Tab. 5** Average weed coverage in % of the five main weeds in the weedy treatment (control) at Ihinger Hof 2010. In brackets: M = monocotyledonous, D = dicotyledonous, A = annual, P = perennial.

**Tab. 5** Durchschnittlicher Unkrautbedeckungsgrad der fünf Hauptunkräuter in der ständig verunkrauteten Variante (Kontrolle) Ihinger Hof 2010. In Klammern: M = einkeimblättrige, D = zweikeimblättrige, A = einjährige, P = mehrjährige.

Main weeds	Coverage (%)
Stellaria media (D, A)	4.25
Capsella bursa-pastoris (D, A)	1.00
Galium aparine (D, A)	0.75
Lamium purpureum (D, A)	0.75
Chenopodium album (D, A)	0.75

Dicotyledons prevailed in Germany and all weed species were annuals. In the untreated control, i.e. in the weedy treatment (W), the ratio of weed biomass to total plant biomass (weeds and maize plants) was large, ranging from 90 % (4-leaf stage) to 76 % (flowering) (Ihinger Hof 2010). In Djougou, it was about 35 % (8-leaf stage to flowering), whereas in Natitingou the ratio was much lower: 23 % and 9 % (10-leaf, flowering), respectively. For the Ihinger Hof 2009 trial, no weed biomass data were recorded.

### 3.2 Maize biomass

In Benin, the maize biomass determined at different growth stages of maize (8-leaf stage, 10-leaf stage and flowering) was not affected by the treatment neither in Djougou nor in Natitingou (data not shown), apart from the maize biomass taken in Natitingou at flowering. This was partly due to high variation within the data. In the two trials at the Ihinger Hof, the maize biomass was significantly affected by the duration of weed interference at the 10-leaf stage (Ihinger Hof 2009) and at the 8-leaf, 10-leaf stage and flowering (Ihinger Hof 2010). Treatments with weed interference until the 8-leaf stage, 10-leaf stage and flowering had produced significantly less biomass than the WF and the WU4L treatment (data not shown).

### 3.3 Yield and yield loss

As expected, the yield levels were much lower in Benin compared to Germany (Tab. 6 and Tab. 7). The yield of the weed-free treatment in the Ihinger Hof trial 2009 was higher (about 10.3 t/ha) than in the Ihinger Hof trial 2010 (about 8.5 t/ha).



**Tab. 6** The effect of duration of weed interference on yield in Germany (Ihinger Hof 2009 and 2010). Within columns, least square means estimates followed by the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ) by multiple t-tests. Weed-free (WF), weedy until 4-leaf stage (WU4L), weedy until 8-leaf stage (WU8L), weedy until 10-leaf stage (WU10L), weedy until flowering (WUF), untreated control/weedy (W).

**Tab. 6** *Effekt der Dauer der Unkrautkonkurrenz auf den Ertrag in Deutschland (Ihinger Hof 2009 und 2010. Kleinste-Quadrate Mittelwert Schätzungen gefolgt von den gleichen Buchstaben innerhalb der Spalten sind nicht signifikant verschieden ( $p < 0.05$ ) multiple t-Tests. Unkrautfrei (WF), verunkrautet bis 4-Blattstadium (WU4L), verunkrautet bis 8-Blattstadium (WU8L), verunkrautet bis 10-Blattstadium (WU10L), verunkrautet bis zur Blüte (WUF), unbehandelte Kontrolle/ständig verunkrautet (W).*

Treatment	Ihinger Hof	
	2009	2010
	Grain yield in t/ha	
WF	10.309 a	8.467 a
WU4L	9.957 a	5.219 b
WU8L	7.915 ab	3.090 c
WU10L	6.642 b	3.342 bc
WUF	- <sup>1)</sup>	1.740 c
W	5.236 b	1.153 c
P-value	0.0239	0.0001

1) This treatment was not included in 2009

In Benin, the yield potential seems to be similar for Djougou and Natitingou (Tab. 7). In all four field trials the duration of weed infestation had a significant effect on yield. At Ihinger Hof in 2009, the WU4L and WU8L treatment were not significantly different from the weed-free treatment, whereas at Ihinger Hof in 2010 and Natitingou, none of the 'weedy' treatment achieved a similar yield compared with the weed-free treatment. For Djougou, the treatment differences were not that large. The WF and the WFUF treatments had the highest yield, the untreated control (W), the weed infested until 10-leaf stage (WU10L) treatment and the weed infested until flowering treatment (WUF) had the lowest yield and the other treatments' yields were intermediate. In the control plots (W), yield loss reached 38 % (Natitingou), 49 % (Ihinger Hof 2009), 58 % (Djougou) and 86 % (Ihinger Hof 2010).

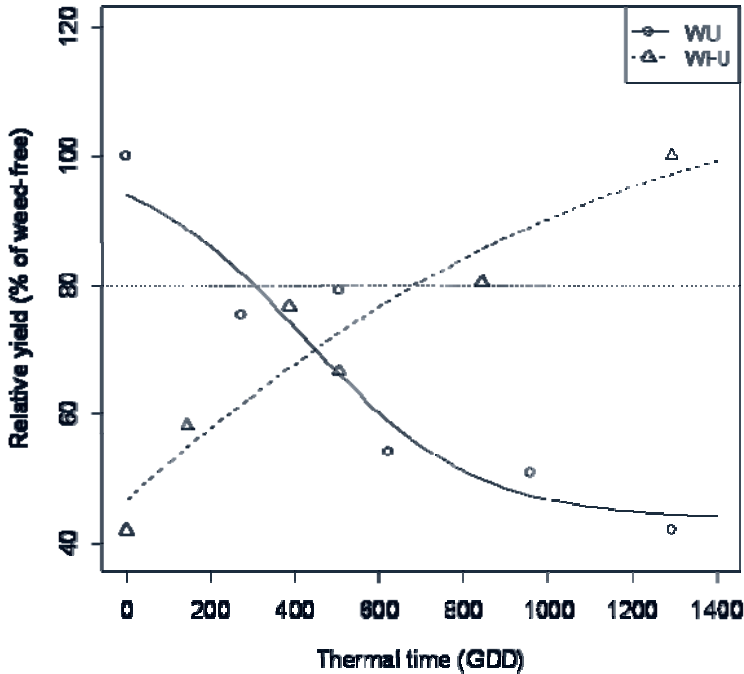
**Tab. 7** The effect of duration of weed interference on yield in Benin 2010 (Djougou and Natitingou). Within columns, least square means estimates followed by the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ) by multiple t-tests. Additional treatments: Weed-free until 4-leaf stage (WFU4L), weed-free until 8-leaf stage (WFU8L), weed-free until 10-leaf stage (WFU10L), weed-free until flowering (WFUF).

**Tab. 7** Effekt der Dauer der Unkrautkonkurrenz auf den Ertrag in Benin 2010 (Djougou und Natitingou). Kleinste-Quadrate Mittelwert Schätzungen gefolgt von den gleichen Buchstaben innerhalb der Spalten sind nicht signifikant verschieden ( $p < 0.05$ ) multiple t-Tests. Zusätzliche Varianten: Unkrautfrei bis 4-Blattstadium (WFU4L), unkrautfrei bis 8-Blattstadium (WFU8L), unkrautfrei bis 10-Blattstadium (WFU10L), unkrautfrei bis Blüte (WFUF).

Treatment	Benin 2010	
	Djougou	Natitingou
	Grain yield in t/ha	
WF	3.396 a	3.322 a
WU4L	2.565 bcd	2.379 b
WU8L	2.536 bcde	2.250 b
WU10L	1.842 def	1.955 b
WUF	1.731 ef	1.783 b
W	1.427 f	2.070 b
WFU4L	1.977 cdef	1.689 b
WFU8L	2.610 bc	2.006 b
WFU10L	2.260 bcde	2.444 b
WFUF	2.733 ab	1.938 b
P-value	0.0007	0.0099

### 3.4 Critical period for weed control

The logistic and Gompertz model were fitted to the data to determine the critical period for weed control (Fig. 1) (KNEZEVIC, 2002). For an acceptable yield loss, a threshold of 20 % was chosen. In practice, the average yield loss is estimated to be about 40 % in Benin and therefore half of this yield loss would improve the situation dramatically. Neither  $T_{\max}$  nor  $T_{\min}$  were ever below the  $T_{\text{base}}$ . For Djougou, the critical period for weed control with these assumptions was from 4-leaf stage/ 8-leaf stage until 10-leaf stage/ flowering. For Natitingou, only the beginning of the critical period for weed control could be determined and was the same as for Djougou (data not shown). For the end of the critical period the curve could not be fitted due to the high variance in the data. For Germany an acceptable yield loss of 2 % was assumed. For Ihinger Hof in 2009, the begin of the critical period was about the 4-leaf stage, whereas for Ihinger Hof 2010 it would have been even earlier between crop emergence and 4-leaf stage (data not shown).



**Fig. 1** Critical period for weed control for Djougou 2010. WU: logistic model fitted to the treatments „weedy until“; representing an increasing duration of weed interference. WFU: Gompertz model fitted to the data of the „weed-free until“ treatments. The horizontal line at 80 % represents the acceptable relative yield (i.e. the acceptable yield loss of 20 %). The interception of this line with the WU curve is the critical timing/beginning for weed removal. The interception of the line with WFU determines the end of the critical period for weed control.

**Abb. 1** Die zeitbezogene Schadschwelle für Djougou 2010. WU: das logistische Model wurde an die Daten „verunkrautet bis“ angepasst; dies repräsentiert die zunehmende Dauer der Verunkrautung. WFU: Das Gompertz Model wurde an die Daten „unkrautfrei bis“ angepasst. Die horizontale Linie bei 80 % entspricht dem akzeptablen relativen Ertrag bzw. Ertragsverlust von 20 %. Die kritische Periode ergibt sich aus den Schnittpunkten der Geraden mit WU (Beginn) und WF (Ende).

#### 4. Discussion

The trials clearly showed the well-known yield effect of weed interference in maize. Uncontrolled weeds caused between 38 and 78 % yield loss which is well in accordance with practical experience. In addition, the results showed high variability depending on the site (Djougou and Natitingou) and the year (Ihinger Hof 2009 and Ihinger Hof 2010). The variability between years in Germany shows that the weed infestation and crop status have to be carefully considered for the application decision. The maize biomass recorded during the season showed high variation within the treatments in the trials of Djougou and Natitingou and therefore almost no significant differences could be found. For Germany and for Benin, the weed species found in the trials were characteristic for the region. In Germany, the yield of the weed-free plots for both years and for Ihinger Hof 2009 also the WU4L treatment corresponded to the average achieved grain yield in the country and of the year (2009: 9.75 t/ha, 2010: 8.79 t/ha) (ANONYMOUS, 2011b). At Ihinger Hof in 2010, maize yield was generally lower than in 2009 due to dry and cold weather at early growth stages. In contrast, the yield of the weed-free treatment in Benin was much higher than the average grain yield of 1.4 t/ha achieved in this region (ANONYMOUS, 2010b). This clearly proves that there is high potential to increase the yield by further weed control. The determined critical period for weed control in Djougou started between the

4-leaf and 8-leaf stage and ended between the 10-leaf stage and flowering, accepting 20 % of yield loss. The current recommendation of the extension service in Benin is to weed twice, one time at about the 4-leaf stage (two weeks after emergence) and the second time at the 10-leaf stage (35-40 days after emergence). Our results suggest that the second weeding should be done earlier. The critical period for weed control determined for Djougou is rather long compared to the one determined for example for Baden-Württemberg, Germany (2-leaf/ 4-leaf stage until 6-leaf stage/ 8-leaf stage) (AMMON, 2002). This could be ascribed to the highly competitive weeds in the Djougou field trials and possibly to the low fertilizer level. For Natitingou, the Gompertz curve could not be fitted due to high variation within the data and thus the end of the critical period for weed control could not be determined. However, the beginning was the same as for Djougou. The results of the German trials confirmed that the critical period of weed control in this region begins at 2-leaf/ 4-leaf stage. For Benin, more field trials are planned to determine the critical period for weed control at several sites and in several years and thus to verify the findings under different environmental conditions. The inclusion of more treatments would improve the quality of the fitted curves and thus the precision of the determined critical period for weed control. As stated in the introduction, weed control is mainly done by hand and thus recommendations about the timing of weeding can improve the weed control efficiency and therefore increase the yield. However, the critical period for weed control determined in this single trial shows also the constraints. The period during which the crop has to be kept weed-free is rather long and this is difficult to achieve with manual weeding, as it has to be done several times and often various other crops have to be taken care of at the same time. Family labor is limited and costs for hired labor are relatively high. The labor saving use of herbicides in maize is prohibitive in Benin due to the high costs and due to lacking availability of maize herbicides in the villages.

### Acknowledgements

The authors would like to thank the staff of the Ihinger Hof, the farmers in Djougou and Natitingou for their time and effort and the GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) for funding the data collection, field trials, and field work in Benin.

### References

- AKOBUNDU I.O., 1987: WEED SCIENCE IN THE COWPEA (*VIGNA UNGUICULATA*) IN THE HUMID TROPICS. *WEED SCIENCE* **30**, 331-334.
- AMMON H.U., 2002: UNKRAUTBEKÄMPFUNG IN KULTUREN. IN: ZWARGER, P. AND H.U. AMMON (EDS.), 2001: UNKRAUT – ÖKOLOGIE UND BEKÄMPFUNG, PP. 238-348. ULMER, STUTTGART.
- ANONYMOUS, 2003: ONASA, OFFICE NATIONAL D'APPUI À LA SÉCURITÉ NATIONALE: EVALUATION DE LA PRODUCTION VIVRIÈRE EN 2002 ET LES PERSPECTIVES ALIMENTAIRES POUR 2003 (REPORT), 96 P.
- ANONYMOUS, 2010A: PROPLANTA, DAS INFORMATIONSZENTRUM FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT. AVAILABLE AT: [HTTP://WWW.PROPLANTA.DE/MAIS/WIRTSCHAFTLICHE-BEDEUTUNG-MAIS\\_PFLANZE1140445953.HTML](http://www.proplanta.de/MAIS/WIRTSCHAFTLICHE-BEDEUTUNG-MAIS_PFLANZE1140445953.HTML) (LAST ACCESSED OCTOBER 13, 2011).
- ANONYMOUS, 2010B: MAEP, MINISTÈRE DE L' AGRICULTURE DE L'ELEVAGE ET DE LA PÊCHE. AVAILABLE AT: [WWW.COUNTRYSTAT.ORG/BEN/FR](http://www.countrystat.org/ben/fr) (LAST ASSESSED OCTOBER 10, 2011).
- ANONYMOUS, 2011B: PROPLANTA, DAS INFORMATIONSZENTRUM FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT. AVAILABLE AT: [HTTP://WWW.PROPLANTA.DE/FOTOS/WELT-GETREIDERENTE\\_BILD1140513283.HTML](http://www.proplanta.de/FOTOS/WELT-GETREIDERENTE_BILD1140513283.HTML) (LAST ACCESSED NOVEMBER 24, 2011).
- ANONYMOUS, 2011B: PROPLANTA, DAS INFORMATIONSZENTRUM FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT. AVAILABLE AT: [HTTP://WWW.PROPLANTA.DE/FOTOS/ERTRAEGE-KOERNERMAIS-EU-1999-2010\\_BILD1304515308.HTML](http://www.proplanta.de/FOTOS/ERTRAEGE-KOERNERMAIS-EU-1999-2010_BILD1304515308.HTML) (LAST ACCESSED OCTOBER 13, 2011).
- BÄR, H., R. DITTRICH, K. EWERT, K. GÖBNER, R. GÖTZ, M. KRAATZ, B. KRUEGER, S. KUPFER, E. MEINLSCHMIDT, M. NAUJOK, E. NAUMANN, S. PELZER, B. POLITZ, G. SCHRÖDER, A. THATE, C. TÜMMLER, G. VIEHWEGER AND E. WEISKE, 2010: HINWEISE ZUM SACHKUNDIGEN EINSATZ VON PFLANZENSCHUTZMITTELN IM ACKERBAU UND AUF DEM GRÜNLAND 2010. LANDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND FLURNEUORDNUNG. ABTEILUNG PFLANZENSCHUTZDIENST, FRANKFURT.
- HARSCH, E., 2004: FARMERS EMBRACE AFRICAN 'MIRACLE' RICE: HIGH-YIELDING 'NERICA' VARIETIES TO COMBAT HUNGER AND RURAL POVERTY. *AFRICA RECOVERY* **17**, 10.
- 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.

- McMASTER, G.S. AND W.W. WILHELM, 1997: GROWING DEGREE-DAYS: ONE EQUATION, TWO INTERPRETATIONS. AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY **87**, 291-300.
- OERKE, E.-C., 2006: CENTENARY REVIEW CROP LOSSES TO PESTS. JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE **144**, 31-43.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009: R: A LANGUAGE AND ENVIRONMENT FOR STATISTICAL COMPUTING, R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING, [HTTP://WWW.R-PROJECT.ORG](http://www.R-project.org).
- SWANTON, C.J. AND S.F. WEISE, 1991: INTEGRATED WEED MANAGEMENT: THE RATIONALE AND APPROACH. WEED TECHNOLOGY **5**, 648-656.
- VISSOH, P.V., G. GBÈHOUNOU, A. AHANTCHÉDÉ, T.W. KUYPER, AND N.G. ROLING, 2004: WEEDS AS AGRICULTURAL CONSTRAINT TO FARMERS IN BENIN: RESULTS OF A DIAGNOSTIC STUDY. NJAS – WAGENINGEN JOURNAL OF LIFE SCIENCE **52-3/4**, 308-329.



## Sektion 4: Herbizid-Management

### Section 4: Herbicide management

## Effektive Kontrolle von Windhalm (*Apera spica-venti* (L.) P. B.) in Wintergetreide durch Nutzung von Herbizidbehandlungen mit hohen Wirkungsgraden – Ergebnisse der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2001-2011

*Effective control of loose silky-bent (*Apera spica-venti* (L.) P.B.) in winter cereals using highly efficacious herbicide treatments. Results of comparative trials in the federal states Brandenburg, Hessen, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia from 2001 to 2011*

Gerhard Schröder<sup>1\*</sup>, Ewa Meinlschmidt<sup>2</sup>, Rolf Balgheim<sup>3</sup>, Elke Bergmann<sup>4</sup> & Katrin Gößner<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Steinplatz 1, D-15806 Zossen OT Wündsdorf

<sup>2</sup>Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Stübellee 2, D-01307 Dresden

<sup>3</sup>Regierungspräsidium Gießen, Am Versuchsfeld 17, 34128 Kassel-Harleshausen <sup>4</sup>Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, D-06406 Bernburg

<sup>5</sup>Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Kühnhäuser Straße 101, D-99198 Kühnhausen

\*Korrespondierender Autor, gerhard.schroeder@lflf.brandenburg.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.037

### Zusammenfassung

In den letzten Jahren mehren sich die Resistenznachweise bei *Apera spica-venti* insbesondere gegenüber ALS-Hemmern und teilweise ACCase-Hemmern auch in den neuen Bundesländern. Eine Konzentration von Wintergetreide und Winterraps in den Fruchtfolgen verbunden mit einer einseitigen Herbizidanwendung haben den Selektionsdruck erhöht. Um einer weiteren Ausbreitung der Resistenzen entgegenzuwirken sind Wirkstoffgruppenwechsel und die Erzielung hoher Wirkungsgrade der Herbizidvarianten neben den ackerbaulichen Aspekten, wie Aussaattermin und Fruchtfolge die Mittel der Wahl.

Es wurde ermittelt, mit welchen dikotylen Unkräutern der Windhalm am häufigsten vergesellschaftet vorkommt. Daraus abgeleitet wurden Herbizide bzw. herbizide Tankmischungen hinsichtlich ihrer notwendigen Breitenwirkung geprüft. Im Ergebnis können Varianten empfohlen werden, die sehr hohe Wirkungsgrade gegenüber dem Windhalm einschließlich der am häufigsten vorkommenden dikotylen Unkräuter erzielt haben. Insgesamt wurden 191 Versuchsstandorte mit Windhalmvorkommen in die Auswertung einbezogen. Es werden anhand der HRAC-Einstufung Gruppen gebildet, die entsprechend der nachgewiesenen Resistenzsituation des Standortes zur Problemlösung beitragen können.

Mit hohen Wirkungsgraden gegen *A. spica-venti* konnten im Herbst Flufenacet-haltige Herbizide wie Malibu (Flufenacet, Pendimethalin), Herold SC (Flufenacet, Diflufenican), Bacara Forte (Flufenacet, Flurtamone, Diflufenican) sowie Fenikan (Isoproturon, Diflufenican) und Carmina 640 (Chlortoluron, Diflufenican) überzeugen. Aber auch Kombinationen von Herbiziden mit der HRAC Einstufung N und E bereichern die Möglichkeiten bei der Umsetzung von Antiresistenzstrategien z. B. Sumimax + Ciral (Flumioxazin + Metsulfuron, Flupyr sulfuron) oder Boxer (Prosulfocarb) + Diflanil 500 SC (Diflufenican) bzw. Beflex (Beflubutamid). Die zur Bekämpfung von *A. spica-venti* im Frühjahr eingesetzten Sulfonylharnstoffvarianten wiesen bezüglich der Streuung der Wirkungsgrade größere Unterschiede auf.

**Stichwörter:** Antiresistenzstrategie, Herbizidresistenz, Herbizidwirksamkeit, HRAC-Gruppe, Stetigkeit der Unkräuter, Windhalmbekämpfung

### Summary

In recent years, an increasing occurrence of resistance to *Apera spica-venti*, especially to ALS inhibitors and partially to ACCase inhibitors has been reported for the new federal states, too. The dominance of winter wheat and winter rape in crop rotations associated with a unilateral application of herbicides has increased the selection pressure. In order to counter further spread of herbicide resistance, the right choice of the mode of action of the herbicide or herbicide combination and highly efficacious herbicide treatments are the methods of choice, of course in addition to the agronomic aspects, such as sowing date and crop rotation.

The research determined how and to what extent dicotyledonous weeds are associated with loose silky-bentgrass. Based on the results, single herbicides or herbicide tank mixes were tested to achieve the expected level of control. As a result, treatments which have achieved very high level of control against *A. spica-venti* and the most common dicotyledonous weeds can be recommended. A total of 191 trial sites have been included in the analysis of *A. spica-venti*. Using the HRAC-classification of herbicides used, groups were formed which might contribute to solving problems specifically linked to the detected resistance situation of the site.

In the autumn, flufenacet-containing herbicides, such as Malibu (flufenacet, pendimethalin), Herold SC (flufenacet, diflufenican), Bacara Forte (flufenacet, flurtamone, diflufenican), Carmina 640 (chlortoluron, diflufenican) and Fenikan (isoproturon, diflufenican) demonstrated high efficiency against *A. spica-venti*. Combinations of herbicides with the HRAC classification of N and E provide further opportunities for the implementation of anti-resistance management strategies, such as Sumimax + Ciral (flumioxazin + metsulfuron, flupyrsulfuron) or Boxer (prosulfocarb) + Diflanil 500 SC (diflufenican) or Reflex (beflubutamid). When applied in spring, significant differences concerning the efficiency and robustness of sulfonylureas for the control of *A. spica-venti* were observed.

**Keywords:** Anti-resistance management, control of loose silky-bent, frequency of weeds, herbicide efficacy, herbicide resistance, HRAC group

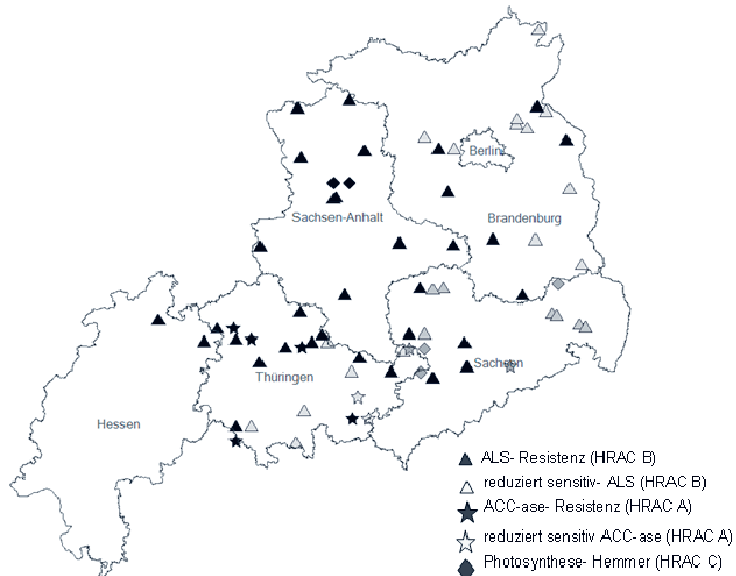
## 1. Einleitung

Der Gemeine Windhalm, *Apera spica-venti* (L.) P. B hat in Ostdeutschland von den Ungräsern die größte Bedeutung (SCHRÖDER et al., 2004). Die Art bevorzugt mittlere bis leichte Böden und ist an den Entwicklungsrythmus von Winterungen angepasst (MELANDER et al., 2007). Bedingt durch die starke Bestockung und den langen Halm besitzt der Gemeine Windhalm in Wintergetreidebeständen eine hohe Konkurrenzskraft, welche die von Acker-Fuchsschwanz übertrifft (NIEMANN und ZWERTGER, 2006). In einem mehr kontinental geprägten Klima läuft der Windhalm in manchen Jahren teilweise erst Mitte bis Ende Oktober auf. In milden Wintern kann sich der Auflaufzeitraum bis in das Frühjahr ausdehnen (KAMPE, 1975; SOUKUP et al., 2006).

In mehreren Regionen Europas wurden in den letzten Jahren verstärkt resistente Populationen von Windhalm, insbesondere gegen Sulfonylharnstoffe, nachgewiesen (MARCZEWSKA und ROLA, 2005; DELABAYS et al., 2006; NOVAKOVA et al., 2006; HAMOUZOVÁ et al., 2010). Das vermehrte Auftreten von resistenten Windhalmbiotypen in Deutschland ist ein großes Problem in der pflanzlichen Produktion. In einem deutschlandweiten Monitoring zeigten 34 % der Zufallsproben eine verminderte Sensitivität, wobei eine große Anzahl der Proben eine Resistenz gegen Iodosulfuron und Sulfosulfuron aufwies (KRATO und PETERSEN, 2010). In Bayern sind vor allem die Herbizide aus der Gruppe der ALS-Hemmer und PS-II-Hemmer von der Resistenz betroffen. Gegenüber Broadway (Pyroxulam + Florasulam) traten nur in Einzelfällen unterschwellige Resistenzen auf (GEHRING et al., 2010). In Rheinland-Pfalz konnte erstmals ein Nachweis einer multiplen Herbizidresistenz gegenüber Isoproturon, den FOP's, Pinoxaden, Flupyrsulfuron, Propoxycarbazone sowie Iodosulfuron + Mesosulfuron geführt werden (AUGUSTIN, 2010). In einem in Mittel- und Osteuropa angelegten Monitoring wiesen 60 % der Samenproben von Verdachtsfällen eine ALS-Resistenz und nur einzelne ACCase-Resistenzen bei Windhalm auf (MASSA und GERHARDS, 2011). Bei der ALS-Resistenz tritt Target-Site-Resistenz relativ häufig als Resistenzmechanismus auf (MASSA et al., 2011). Auch KRATO und PETERSEN (2010) konnten beim Windhalm nur in Einzelfällen eine ACCase-Resistenz nachweisen.

Seit 2009 wurde in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen aus der landwirtschaftlichen Praxis immer öfter über eine reduzierte Wirkung von Herbiziden gegenüber dem Windhalm berichtet. Im Rahmen der Ursachenermittlung wurden von den Herstellerfirmen, deren Herbizide Minderwirkungen zeigten, erste Untersuchungen auf den Resistenzstatus durchgeführt. In der Abbildung 1 sind die bisherigen Untersuchungsergebnisse der PSM-Herstellerfirmen Bayer CropScience, DuPont, Syngenta und die in Auftrag gegebenen Resistenzuntersuchungen der Pflanzenschutzdienste der Länder einschließlich 2010 dargestellt.





**Abb. 1** Nachgewiesene Herbizidresistenzen beim Windhalm in den fünf Bundesländern (Stand 2010).

**Fig. 1** Reported herbicide resistance in *Apera spica-venti* in five federal states in Germany (2010).

Dabei handelt es sich bei 91 % der Proben um Standorte, die eine deutliche Minderwirkung gegenüber den jeweiligen Herbizidwirkstoffen aufwiesen. Die restlichen 9 % der Herbizidresistenznachweise stammen von Standorten, die im Rahmen von Resistenzmonitorings zufällig beprobt wurden. Nach den Einschätzungen der zuständigen Pflanzenschutzdienste der in Abbildung 1 dargestellten Länder ist gegenwärtig davon auszugehen, dass herbizidresistente Biotypen bzw. Populationen von *A. spica-venti* auf deutlich unter 1 % der Wintergetreideanbaufläche vorkommen. Die relativ niedrige Anzahl von positiven Herbizidresistenznachweisen ist auf die allgemein in den Ländern noch geringe Anzahl der Untersuchungen zurückzuführen. WOLBER (2010, 2011) verweist darauf, dass die Sulfonylharnstoffe gegen Windhalm im Frühjahr an vielen Standorten in Niedersachsen nicht mehr ausreichend wirken. Im Vergleich zu Niedersachsen ist die Anzahl der nachgewiesenen Herbizidresistenzen bei ALS-Hemmern in den Ländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen z.Z. noch geringer. Eine der Ursachen für die später auftretenden Sulfonylharnstoffresistenzen beim Windhalm ist die noch bis Mitte der neunziger Jahre praktizierte vielgliedrige Fruchtfolge. Im Vergleich der Jahre 1993 und 2010 hat der Anteil der Winterungen (Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste und Winterrap) in Brandenburg um 31 %, in Sachsen-Anhalt um 33,9 %, in Thüringen um 34,8 % und in Sachsen um 44,8 % zugenommen. In Verbindung mit einer allgemein etwas früheren Aussaat hat der an die Herbstkulturen angepasste Windhalm zunehmend optimale Entwicklungsbedingungen gefunden. Nach Einschätzung der Pflanzenschutzdienste werden im Mittel der Jahre ca. 70 % der Getreideflächen im Herbst gegen Windhalm und dikotyle Unkräuter behandelt. Somit hat der Einsatz der weniger resistenzgefährdeten Wirkstoffgruppen HRAC K1, K3 und F1 der Selektion von resistenten Biotypen weitgehend entgegengewirkt (Einstufung der Herbizide nach dem Wirkort-Prinzip durch das Herbicide Resistance Action Committee (HRAC), 2011). Auf Standorten, auf denen jedoch verstärkt Sulfonylharnstoffe im Herbst und/oder im Frühjahr mehrjährig appliziert wurden, sind nachweislich die ersten resistenten Biotypen selektiert worden. Aufgrund der allgemein noch geringen Nachweise von resistenten Biotypen von *A. spica-venti* in den vier neuen Bundesländern, besteht noch die Möglichkeit, durch effektive Antiresistenzstrategien die weitere Selektion dieser Biotypen zumindest hinauszuzögern. Im Rahmen der Ringversuchsgruppe der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Hessen wurden in den Jahren von 2001 bis 2011 Herbizidvarianten in Wintergetreide

bezüglich der erreichten Wirkungsgrade gegenüber *A. spica-venti* und den wichtigsten dikotylen Leitunkräutern geprüft. Durch eine gezielte Auswertung der Versuchsergebnisse sollten die Herbizide bzw. herbiziden Tankmischungen mit den höchsten Wirkungsgraden gegenüber *A. spica-venti*, unterteilt nach den HRAC-Gruppen, ermittelt werden.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Stetigkeit**

Um aus der Vielzahl der Herbizide die an das meist vorkommende Unkrautspektrum passenden Wirkstoffe auswählen zu können, sind Aussagen über die Stetigkeit der Unkrautarten notwendig. Es wurden die unbehandelten Kontrollen der Jahre 2001 - 2011 von Streulageversuchen zur Windhalmbekämpfung der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen herangezogen und mit den Ergebnissen der Jahre 1995 - 2004 verglichen. Man wählte zur Auswertung nur solche Versuche aus, die im Herbst angelegt wurden und in denen zumindest eine Variante im BBCH-Stadium 09 - 11 appliziert wurde. Obwohl bei der Versuchsflächenauswahl in der Streulage primär das Kriterium einer möglichst hohen Verunkrautung im Mittelpunkt stand, konnte bei der konkreten Flächenauswahl wegen mangelnder sichtbarer Verunkrautung das Unkrautpotential des jeweiligen Standortes nicht eingeschätzt werden. In diesem Sinne kann die Auswahl durchaus als statistische Zufallsauswahl betrachtet werden. Insgesamt konnten 191 Standorte in die Auswertung einbezogen werden. Dabei ist zu beachten, dass nur solche Unkrautarten zur Bewertung der Stetigkeit herangezogen wurden, die bei der Frühjahrsbonitur in der unbehandelten Kontrolle einen Deckungsgrad je Art von über 5 % erreicht haben.

### **2.2 Versuchsdurchführung**

Im Rahmen von Ringversuchen der Bundesländer wurden die Wirkungen der Herbizide bzw. herbizider Tankmischungen hinsichtlich der Strategien zur Resistenzvermeidung bzw. zur Verlangsamung der Resistenzdynamik bei Windhalm geprüft. Mit den entsprechenden Aufwandmengen sollten sowohl *A. spica-venti* als auch die dikotylen Leitunkräuter, wie *Centaurea cyanus* L., *Matricaria*-Arten, *Papaver rhoeas* L. oder der zunehmende Ausfallraps mit hohen Wirkungsgraden erfasst werden. Die Versuche wurden in Streulage als randomisierte Blockanlage mit vier bzw. drei Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße betrug ca. 20 m<sup>2</sup>. In den Abschlussbonituren kurz vor der Ernte wurden die Windhalm-Rispen/m<sup>2</sup> gezählt und mit den Werten der unbehandelten Kontrolle verglichen. Die Darstellung der Wirkungsgrade erfolgte mit Hilfe von Boxplots. Der waagerechte Strich markiert den Median. Die eingesetzten Herbizide und herbizide Tankmischungen mit den Aufwandmengen sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt.

**Tab. 1** Auswahl der geprüften Herbizidvarianten gegen *A. spica-venti* im Herbst.**Tab. 1** Rates of herbicide used for the control of *A. spica-venti* in autumn.

<b>Herbizid bzw. Tankmischung; Aufwandmenge in l, kg/ha</b>	<b>Wirkstoffe in g/ha</b>	<b>HRAC-Gruppen</b>
<b>ALS-Hemmer (B), PSII (C2), PDS (F1), Mikrotubuli (K1)</b>		
Alister; 0,8	2,4 Iodosulfuron; 7,5 Mesosulfuron 120 Diflufenican	B; F1
Lentipur 700; 2,0 +	1400 Chlortoluron	
Alliance; 0,065	42 Diflufenican; 4,2 Metsulfuron	C2 + F1; B
Picona; 1,5 +	480 Pendimethalin; 24 Picolinafen	
Lexus; 0,015	7,5 Flupyr sulfuron	K1; F1 + B
Falkon; 1,0 +	100 Diflufenican; 15 Penoxsulam	
Primus; 0,075	3,7 Florasulam	F1; B + B
Orbit; 2,5 +	833,2 Pendimethalin; 33,2 Cinidon-ethyl	
Lexus; 0,015	7,5 Flupyr sulfuron	K1 + B
Absolute M; 0,135 +	59,9 Diflufenican; 7,6 Flupyr sulfuron	
Stomp Aqua; 1,5	1137,5 Pendimethalin	F1; B + K1
Absolute M; 0,180	79,9 Diflufenican; 10,1 Flupyr sulfuron	F1; B
<b>ACCCase-Hemmer (A), PSII (C2), PPO-Hemmer (E), PDS (F1), Zellteilung (K1), und Fettsynthese (N)</b>		
Sumimax; 0,05 +	25 Flumioxazin	
Ciral; 0,0125	2,1 Metsulfuron; 4,2 Flupyr sulfuron	E + B
Boxer; 2,5 +	2000 Prosulfocarb	
Diflanil 500 SC*; 0,25	125 Diflufenican	N + F1
Boxer; 2,5 +	2000 Prosulfocarb	
Beflex; 0,4	200 Beflubutamid	N + F1
Axial 50; 0,7 +	35 Pinoxaden	
Stomp Aqua; 2,0	910 Pendimethalin	A + K1
Axial 50; 0,5 +	25 Pinoxaden	
Ciral; 0,0125	2,1 Metsulfuron; 4,2 Flupyr sulfuron	A + B
Ralon Super; 0,8 +	55 Fenoxaprop	
Lentipur 700; 2,0	1400 Chlortoluron	A + C2
<b>PSII (C2), PDS (F1); Mikrotubuli (K1), Zellteilung (K3)</b>		
Carmina 640; 2,5	1500 Chlortoluron; 100g Flufenacet	C2; K3
Malibu; 2,5 +	750 Pendimethalin; 150g Flufenacet	
Pointer SX; 0,015	7,5 Tribenuron	K1; K3 + B
Bacara Forte; 1,0	120 Diflufenican; 120 Flufenacet; 120 Flurtamone	F1; K3
Fenikan; 2,0	1000 Isoproturon; 125 Diflufenican	C2; F1
Herold SC; 0,3	60 Diflufenican; 120 Flufenacet	F1; K3
Malibu; 1,5 +	450 Pendimethalin; 90 Flufenacet	
Pointer SX; 0,015	7,5 Tribenuron	K1; K3 + B
Bacara; 0,75 +	175 Flurtamone; 70 Diflufenican	
Pointer SX; 0,015	7,5 Tribenuron	F1 + B
Trinity; 2,0	600 Pendimethalin; 500 Chlortoluron; 80 Diflufenican	K1; C2; F1

\* Zulassung wird erwartet

**Tab. 2** Auswahl der geprüften Herbizidvarianten gegen *A. spica-venti* im Frühjahr.

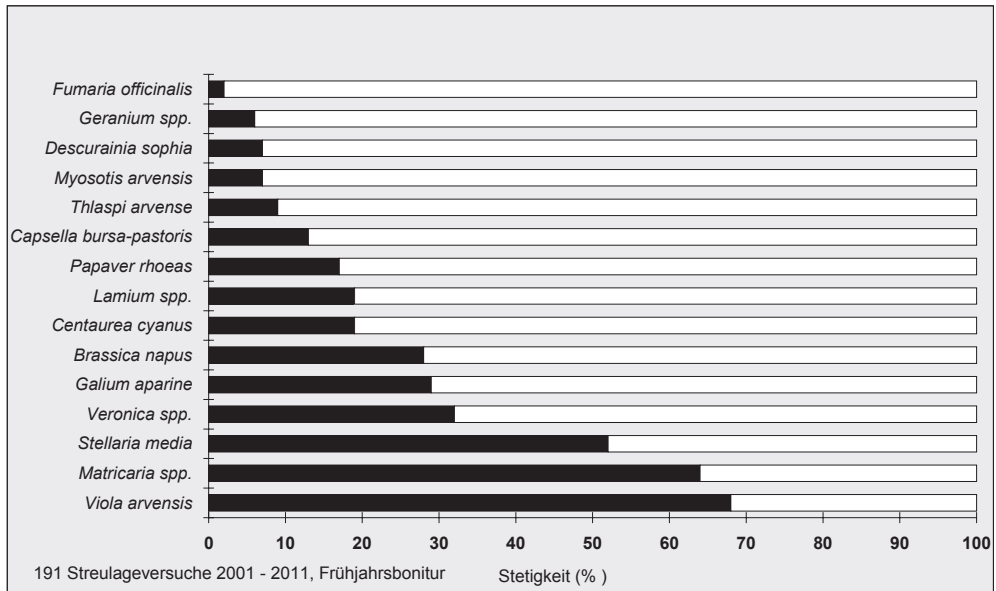
**Tab. 2** Rates of herbicide used for the control of *A. spica-venti* in spring.

Herbizid bzw. Tankmischung; Aufwandmenge in l oder kg/ha	Wirkstoffe in g/ha	HRAC-Gruppen
<b>ALS-Hemmer (B) und ACCase-Hemmer (A)</b>		
Broadway; 0,130 + Broadway- Netzmittel (NM); 0,6	3 Florasulam; 8,9 Pyroxulam	B
Atlantis OD; 0,5	5,2 Mesosulfuron; 1 Iodosulfuron	B
Monitor; 0,0125 + Monfast; 0,2 %	10 Sulfosulfuron	B
Axial 50; 0,9 +	45 Pinoxaden	
Starane XL; 1,2	120 Fluroxypyr; 3 Florasulam	A + O; B
Traxos; 1,2 +	30 Pinoxaden, 30 Clodinafop	
Starane XL; 1,2	120 Fluroxypyr; 3 Florasulam	A + O; B
Ralon Super; 1,0 +	69 Fenoxaprop	
Lentipur 700; 3,0	2100 Chlortoluron	A + C2
Atlantis WG; 0,15 +		
Formulierungshilfsstoff (FHS); 0,3 +	0,9 Iodosulfuron; 4,5 Mesosulfuron	
Starane XL; 1,2	120 Fluroxypyr; 3 Florasulam	B + O; B
Concert SX; 0,15	6 Metsulfuron; 60 Thifensulfuron	B
Husar OD; 0,1 + Mero; 1,0	10 Iodosulfuron	B

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Stetigkeit

Die Abbildung 2 gibt einen Überblick über die mit *A. spica-venti* vergesellschafteten dikotylen Unkrautarten im Zeitraum 2001 - 2011. Da in der landwirtschaftlichen Praxis nicht nur der Windhalm sondern auch die dikotylen Unkräuter durch gezielte Herbizidmaßnahmen kontrolliert werden müssen, sollten solche Tankmischungen ausgewählt werden, die die häufigsten Unkrautarten ebenfalls gut bekämpfen. Arten wie *Centaurea cyanus*, *Papaver rhoeas* und der Raps-Durchwuchs, die ein hohes Konkurrenzpotenzial besitzen, sind standortbezogen mit zu berücksichtigen. Im Vergleich zu den registrierten Stetigkeiten im Zeitraum 1995 - 2004 (SCHRÖDER et al., 2006) verschob sich *Viola arvensis* vom Rang 4 auf den Rang 1 und wurde auf 68 % der Versuchsstandorte registriert. Darauf folgten *Matricaria* spp. mit 64 % und *Stellaria media* mit 52 %. *Veronica*-Arten verschoben sich vom Rang 6 auf den Rang 4. Im Vergleich zum Zeitraum 1995 - 2004 ist eine zunehmende Stetigkeit von 5 % bei *Brassica napus*, 7 % bei *Centaurea cyanus* sowie 10 % bei *Papaver rhoeas* zu verzeichnen. *Centaurea cyanus* und *Papaver rhoeas* sind in den fünf Ländern noch unterschiedlich verbreitet. Beide Arten kommen in nördlichen Ländern stärker vor. Im Bereich von 10 % liegen *Myosotis arvensis*, *Descurainia sophia* und *Geranium* spp.. Auf etwa 30 % der Standorte treten *Galium aparine* und *Brassica napus* auf.



**Abb. 2** Stetigkeit (%) der dikotylen Unkrautarten, die mit *A. spica-venti* vergesellschaftet auf den 191 Versuchsstandorten auftraten, 2001 – 2011.

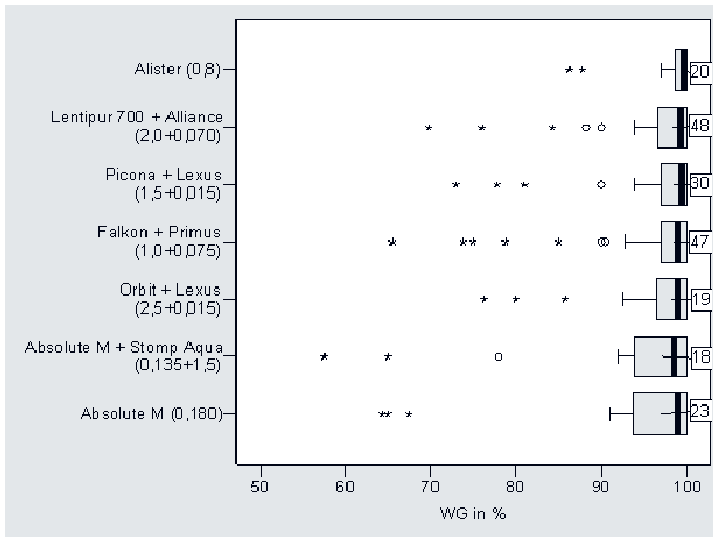
**Fig. 2** Frequency (%) of broad-leaved weeds associated with *A. spica-venti* on 191 trial sites, 2001 – 2011.

### 3.2 Versuchsergebnisse

Die Abbildung 3 zeigt die Herbizidvarianten von Sulfonylharnstoffen in Tankmischung mit Wirkstoffen aus den HRAC-Gruppen F1 bzw. K1 oder C2. In der Variante Lentipur 700 und Alliance wurde Alliance mit einer Aufwandmenge von 70 g/ha geprüft. Im Rahmen der Zulassung gewährte das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit für den Herbst Einsatz von Alliance nur eine Aufwandmenge von 65 g/ha.

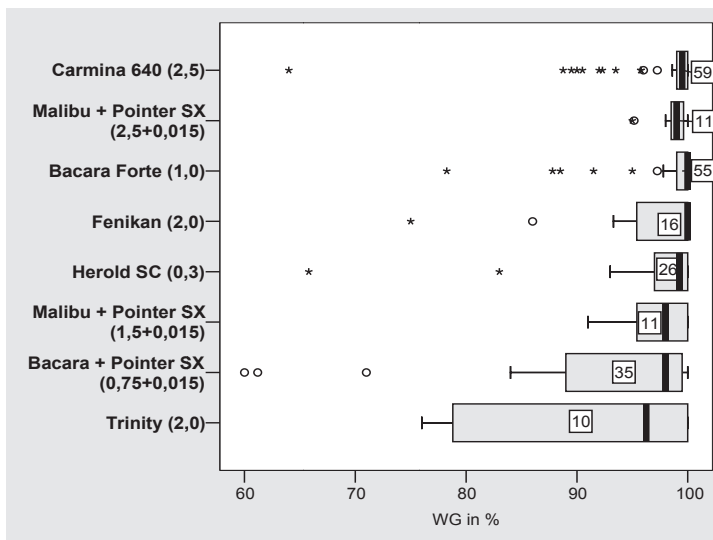
Die Wirkungsgrade (Median der Boxplots) lagen bei allen Herbizidvarianten über 98 %. Bezüglich der Streuung der Wirkungsgrade gibt es jedoch Unterschiede. In allen Herbizidvarianten traten auf einzelnen Versuchsstandorten zum Teil deutliche Minderwirkungen auf (sogenannte Ausreißer und Extremwerte in der Boxplotsdarstellung). Da die Versuchsstandorte nicht auf resistente Biotypen von *A. spica-venti* untersucht wurden, können rückwirkend keine Aussagen zu den Ursachen der Minderwirkung getroffen werden. Die meisten Minderwirkungen auf den Versuchsstandorten beschränken sich jedoch auf die zurückliegenden vier Jahre. Somit kann zumindest vermutet werden, dass Teile der Windhalmpopulation durchaus bereits eine Resistenz gegenüber Sulfonylharnstoffen aufweisen. Da von den Wirkstoffen der Tankmischungspartner ebenfalls eine herbizide Wirkung gegenüber *A. spica-venti* erzielt wird, liegen die Wirkungsgrade auch auf den Standorten mit vermuteter Sulfonylharnstoff-Resistenz noch deutlich über 50 %.

Aus der Abbildung 4 ist ersichtlich, dass von diesen vorwiegend über den Boden wirkenden Herbizidkombinationen die verschiedenen Mischungen mit dem Wirkstoff Flufenacet die höchsten Wirkungsgrade gegenüber *A. spica-venti* erzielen konnten. Dabei wiesen die Varianten 2,5 l/ha Carmina 640, die Tankmischung 2,5 l/ha Malibu + 15 g/ha Pointer SX und 1,0 l/ha Bacara Forte (Windhalmzulassung nur 0,8 l/ha) die geringste Streuung auf. Obwohl diese drei Versuchsvarianten Wirkungsgrade im Median von 98 % bzw. 99 % trotz der hohen Versuchszahlen bei Bacara Forte und Carmina 640 aufwiesen, wurden auf einigen Versuchsstandorten geringere Wirkungsgrade bonitiert. Die Analyse dieser Versuchsstandorte ergab, dass überwiegend eine langanhaltende Trockenheit nach der Applikation für die geringere herbizide Leistung verantwortlich ist.



**Abb. 3** Wirkung von Herbizidvarianten (%) der HRAC Gruppe B in Tankmischung mit Wirkstoffen anderer HRAC Gruppen bei Herbstapplikation gegen *Apera spica-venti*, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha in Klammern, Zahl im Balken = Anzahl der Ergebnisse.

**Fig. 3** Efficacy of herbicides (%) of HRAC group B in combination with different HRAC groups for autumn application against *Apera spica-venti*. Figures in brackets indicate herbicide use rates in l or kg/ha, figures in square = number of trials.

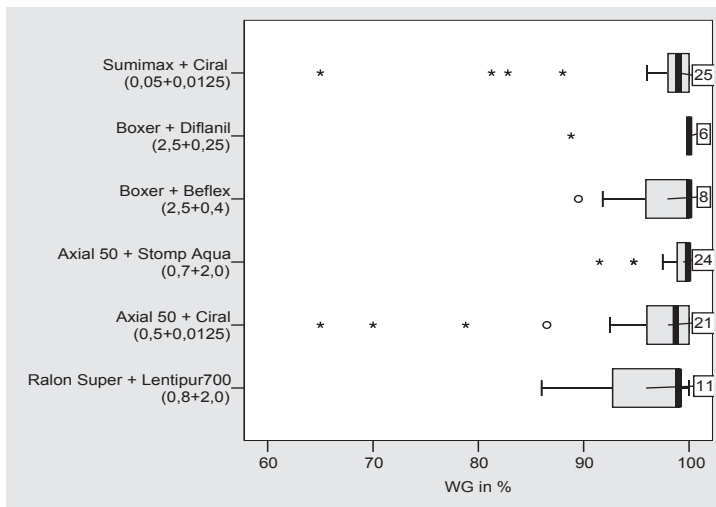


**Abb. 4** Wirkung von Herbizidvarianten (%) der HRAC-Gruppen F1, K1, K3 und C2 in unterschiedlicher Kombination bei Herbstapplikation gegen *A. spica-venti*, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha in Klammern, Zahl im Balken = Anzahl der Ergebnisse.

**Fig. 4** Efficacy of herbicides (%) of HRAC groups F1, K1, K3 and C2 in different combinations for autumn application against *A. spica-venti*. Figures in brackets indicate herbicide use rates in l or kg/ha, figures in square = number of trials.

In vergleichenden Untersuchungen konnten bezüglich der Aufwandmenge von 1,0 l/ha und 0,8 l/ha Bacara Forte nur marginale Unterschiede in der Windhalmwirkung festgestellt werden. Insbesondere wurden bei einer Reduzierung der Aufwandmengen der Herbizide z. B. Herold SC, Fenikan, Malibu mit einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha und Bacara von 0,75 l/ha eine größere Streuung der Wirkungsgrade ermittelt. Das neu zugelassene Herbizid Trinity konnte unter den Einsatzbedingungen 2010 bezüglich der Wirkungssicherheit nicht überzeugen.

Die Abbildung 5 zeigt, dass mit den blattaktiven ACCase-Hemmern Axial 50 und Ralon Super in Tankmischung mit Herbiziden aus anderen HRAC-Klassen hohe Wirkungsgrade gegenüber *A. spica-venti* realisiert wurden (Median 98 %). Die ausgewiesenen verminderten Wirkungsgrade speziell bei Axial 50 (Ausreißer) sind auf den Versuchsstandorten nicht auf eine metabolische Resistenz zurückzuführen, sondern durch den späteren Auflauf des Windhalms in milden Wintern bzw. im zeitigen Frühjahr begründet. Herbizidkombinationen mit den HRAC-Gruppen E (Sumimax) und N (Boxer) wurden erst in den Jahren seit 2009 (Sumimax) bzw. 2010 (Boxer) in die Ringversuche integriert. Mit der Tankmischung Sumimax + Ciral (Sumimax hat nur eine Zulassung in Winterweizen) konnten im Median Wirkungsgrade gegenüber dem Windhalm von 98 % erzielt werden. Aus der Abbildung 5 ist ersichtlich, dass auch bei dieser Tankmischung auf einzelnen Versuchsstandorten Minderwirkungen bonitiert wurden. Eine Analyse dieser Standorte bzgl. der Minderwirkung ergab, dass in diesen Fällen die Applikation dieser Tankmischung erst im 2- Blattstadium erfolgte. Auch mit den Tankmischungen Boxer + Diflanil 500 SC (z. Z. noch keine Zulassung) bzw. Boxer + Beflex konnten hohe Wirkungsgrade erzielt werden. Diese Tankmischungen sind in allen Wintergetreidearten einsetzbar.

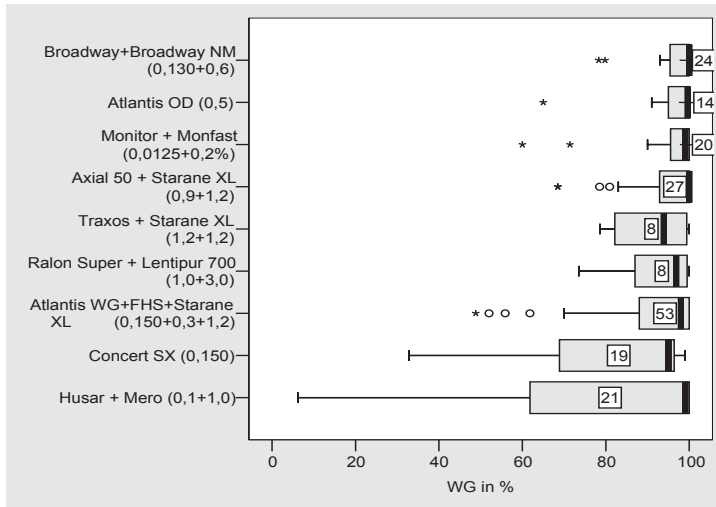


**Abb. 5** Wirkungsgrade von Herbizidvarianten (%) der HRAC-Gruppe A in Tankmischung mit anderen HRAC Gruppen sowie von Herbizidvarianten der HRAC-Gruppe N und E jeweils in Tankmischung bei der Herbstapplikation gegen *A. spica-venti*, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha in Klammern, Zahl im Balken = Anzahl der Ergebnisse.

**Fig. 5** Efficacy of herbicides (%) of HRAC group A in combination with herbicides of a different HRAC group and with herbicides of group N and E for autumn application against *A. spica-venti*. Figures in brackets indicate herbicide use rates in l or kg/ha, figures in square = number of trials.

Die Abbildung 6 zeigt, dass zwischen den verschiedenen Varianten der ALS-Hemmer z.B. Broadway + Broadway Netzmittel (NM) und Husar + Mero deutliche Unterschiede in der Streuung der Wirkungsgrade bestehen. Beide ALS-Hemmer erzielten auf einzelnen Versuchsstandorten deutlich unterschiedliche Wirkungsgrade, während sie auf anderen Standorten annähernd Wirkungsgrade von 98 % erreichten. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass auf den Standorten mit

unterschiedlichen Wirkungsgraden bereits resistente Biotypen vorhanden sind. Neben den Sulfonylharnstoffen konnten auch die ACCase-Hemmer Axial 50 und Traxos mit hohen Wirkungsgraden überzeugen. Axial 50 wies gegenüber Traxos eine geringere Streuung der Wirkungsgrade auf.



**Abb. 6** Wirkung von Herbizidvarianten (%) der HRAC-Gruppe A und B bei der Applikation im Frühjahr gegen *A. spica-venti*, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha in Klammern, Zahl im Balken = Anzahl der Ergebnisse.

**Fig. 6** Efficacy of herbicides (%) of HRAC group A and B at spring application against *A. spica-venti*. Figures in brackets indicate herbicide rates in l or kg/ha, figures in square = number of trials.

## 4. Diskussion

### 4.1 Veränderung der Zielstellung der Ungrasbekämpfung in Abhängigkeit von der zeitlichen Entwicklung von resistenten Biotypen des Windhalms

Zu Beginn des Jahrtausends orientierte sich die amtliche Beratung in den neuen Bundesländern auch bei der Windhalmbekämpfung darauf, mit möglichst geringen Wirkstoffmengen hohe Wirkungsgrade zu erzielen. Dabei wurde durchaus eine geringe Windhalmpflanzenanzahl pro m<sup>2</sup> toleriert. 10 Jahre später liegt die Zielstellung in einer möglichst vollständigen Bekämpfung des Windhalms. Diese Erkenntnis hat sich durch die ersten Resistenznachweise bei ALS-Wirkstoffen gegenüber dem Windhalm herausgebildet. SCHRÖDER et al. (2004) konnten nachweisen, dass in den Versuchsjahren 2001 und 2002 unter optimalen Einsatzbedingungen trotz Wirkstoffmengenreduzierungen/ha von Sulfosulfuron (Monitor) bzw. Mesosulfuron + Iodosulfuron (Atlantis WG) um 50 % nur geringe in der landwirtschaftlichen Praxis tolerierbare Wirkungsgradreduzierungen auftraten. Unter den deutlich suboptimalen Einsatzbedingungen des Jahres 2003 (geringe Luftfeuchten über einen längeren Zeitraum) wurde ein deutlicher Wirkungsabfall bei vermindertem Stoffeinsatz pro Fläche festgestellt. Mit der Erkenntnis der nachgewiesenen Aufwandmengenflexibilität dieser Wirkstoffe wurden in der Beratung verringerte Aufwandmengen empfohlen. Diese Vorgehensweise kann im Einzelfall durchaus die Selektion von metabolisch resistenten Biotypen insbesondere dann gefördert haben, wenn die Wirkungsgrade dadurch unter 95 % lagen.

Durch die in den letzten Jahren zunehmenden Resistenznachweise bei Ackerfuchsschwanz und die ersten Resistenznachweise bei Windhalm musste auch die Bekämpfungsstrategie neu überdacht werden. Im Rahmen von Antiresistenzstrategien besteht die Zielstellung heute darin, möglichst hohe Wirkungsgrade gegenüber *A. spica-venti* zu realisieren.



#### 4.2 Antiresistenzbausteine bei der Windhalmbekämpfung im Getreideanbau zur Minderung der Selektion von resistenten Biotypen

Die Auswertung der Versuchsergebnisse hat gezeigt, dass eine zusammengefasste Darstellung der Wirkungsgrade aller Versuchstandorte zunehmend Probleme bei der Interpretation der Ergebnisse bereitet. Speziell bei einer höheren Streubreite der Ergebnisse und bei der Analyse der extremen Minderwirkungen (Ausreißer) kann ohne eine Kenntnis der schlagspezifischen Resistenzsituation keine reale Bewertung der einzelnen Wirkstoffe oder Wirkstoffkombinationen mehr erfolgen. Wenn die Minderwirkungen nicht mit suboptimalen Einsatzbedingungen der Wirkstoffe erklärt werden können, bleibt nur die Vermutung, dass Teile der Population zumindest eine verminderte Sensitivität aufweisen. Da nicht alle Standorte auf den aktuellen Resistenzstatus untersucht werden können, richten sich die Antiresistenzstrategien auf eine Minderung der Selektion von resistenten Biotypen. Durch einen möglichst ständigen Wechsel der Mode of action (Wirkungsmechanismuswechsel) kann die Selektion von resistenten Biotypen deutlich reduziert werden. Die Klassifizierung der Wirkstoffe durch das HRAC nach dem Wirkungsmechanismus in verschiedenen Wirkstoffgruppen durch eine einfache Buchstabenkombination ermöglicht es der Beratung und letztendlich auch dem Landwirt, gezielt gegen eine Selektion resistenter Windhalmpopulationen vorzugehen.

Mit der Auswertung der Ringversuche der Länder Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Hessen konnten entsprechend der HRAC-Eingruppierung Herbizidlösungen ermittelt werden, die unter den verschiedenen Witterungsbedingungen und Bodenverhältnissen der Versuchsstandorte hohe Wirkungsgrade gegen *A. spica-venti* erzielten. Die Auswahl der möglichen Herbizidvarianten im Wintergetreide zur Kontrolle des Windhalms richtet sich nach den Herbiziden mit der entsprechenden HRAC-Eingruppierung, die bereits im Rahmen der Fruchtfolge genutzt wurden. Da der Windhalm meist mit einer Reihe dikotyle Unkräuter vergesellschaftet vorkommt, muss deren Auftreten bei der Auswahl der Herbizidlösung mit berücksichtigt werden (SCHRÖDER et al., 2006). Weiterhin ist die unterschiedliche Resistenzgefährdung der einzelnen Wirkstoffgruppen bei der Auswahl zu beachten. Gegenwärtig häufen sich die Nachweise von ALS-Resistenzen bei Windhalm, sodass die Gruppe der ALS-Hemmer nur bedingt zur Kontrolle des Windhalms herangezogen werden sollte. Auf Standorten mit einem verstärkten Auftreten von *Centaurea cyanus* kann jedoch gegenwärtig auf den Wirkstoff Flupyrsulfuron im Herbst im Wintergetreide (außer Wintergerste) nicht verzichtet werden. Der Einsatz von Photosynthese II-Hemmern (HRAC-Gruppe C2) kann nur auf Standorten genutzt werden, die von den zahlreichen wirkstoffbezogenen Anwendungsbestimmungen nicht betroffen sind. Die ACCase-Hemmer sollten aufgrund der ebenfalls hohen Resistenzgefährdung nicht als Standardprodukt zur Windhalmbekämpfung genutzt werden. Dieser Wirkstoffgruppe kommt jedoch eine erhöhte Bedeutung bei der Windhalmbekämpfung zu, wenn die Zellwachstumshemmer (HRAC-Eingruppierung K) infolge ungünstiger Einsatzbedingungen (z. B. längere Trockenphasen im Herbst) zu geringe Wirkungsgrade erzielt haben. Trotz dieser nicht immer sicheren Wirkung der Wirkstoffe mit der HRAC-Eingruppierung K (z.B. Flufenacet, Pendimethalin) sollten sie aufgrund der allgemein geringen Resistenzgefährdung im Herbst das Primat der Windhalmbekämpfung darstellen. Um alle möglichen Resistenzbausteine im Rahmen einer Antiresistenzstrategie zu nutzen, müssen Herbizidvarianten der HRAC-Gruppe N und E zunehmend in der Windhalmbekämpfung eingesetzt werden. Dazu sind speziell neben den bereits dargestellten Herbizidvarianten weitere Kombinationen in Versuchen zu prüfen.

Neben diesen herbizidbetonten Fragestellungen muss dennoch unterstrichen werden, dass sich ein Anti-Resistenz-Management aus vielen unterschiedlichen Bausteinen zusammensetzt (ZWERGER et al., 2002; BALGHEIM, 2009; GEHRING, 2009; BERGMANN et al., 2010; RAFFEL et al., 2010; MEINLSCHMIDT und SCHRÖDER, 2011). Ackerbauliche Maßnahmen, wie Fruchtfolgen, Saattermine, Bodenbearbeitung, Sortenwahl und ein gezielter Herbizideinsatz bilden so ein komplementäres System (FACHAUSSCHUSS HERBIZIDRESISTENZ am JKI, 2009).

#### Literatur

AUGUSTIN, B., 2010: WINDHALM-HERKUNFT AUS RHEINLAND-PFALZ MIT MULTIPLER HERBIZIDRESISTENZ. JULIUS-KÜHN-ARCHIV 428, 271-272.

- BALGHEIM, R., 2009: UNGRÄSER – IMMER MEHR RESISTENZEN. SONDERDRUCK AUS DLG-MITTEILUNGEN **9**, 2-6.
- BERGMANN, E., R. WITTKOPF, E. MEINLSCHMIDT, G. SCHRÖDER UND K. EWERT, 2010: ERGEBNISSE ZUR WINDHALMBEKÄMPFUNG (*APERA SPICA VENTI* L.) IN WINTERGETREIDE AUS RINGVERSUCHEN IN SACHSEN-ANHALT, SACHSEN, BRANDENBURG UND THÜRINGEN. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 477.
- DELABAYS, N., G. MERMILLOD UND C. BOHREN, 2006: FIRST CASE OF RESISTANCE TO SULFONYLUREA HERBICIDES REPORTED IN SWITZERLAND: A BIOTYPE OF LOOSE SILKY-BENT (*APERA SPICA VENTI* (L.) BEAUV.). ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XX**, 89-94.
- FACHAUSSCHUSS HERBIZIDRESISTENZ AM JULIUS-KÜHN-INSTITUT, 2009: HERBIZIDRESISTENZ – UNVERMEIDBAR? INFORMATIONSBLETT, JKI BUNDESFORSCHUNGSINSTITUT FÜR KULTURPFLANZEN, BRAUNSCHWEIG.
- GEHRING, K., 2009: ACKERFUCHSSCHWANZ UND WINDHALM – DIE ZWEI BEDEUTENDSTEN UNGRÄSER IM GETREIDEBAU. GETREIDEMAGAZIN **1**, 20-25.
- GEHRING, K., S. THYSSEN UND T. FESTNER, 2010: HERBIZIDRESISTENZ BEI *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. (ACKERFUCHSSCHWANZ) UND *APERA SPICA-VENTI* (L.) P. BEAUV. (WINDHALM) IN BAYERN. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 270-271.
- HAMAMOZÁ, K., J. SOUKUP, M. JURSIK, P. HAMOUZ, V. VENČLOVA UND P. TUMOVA, 2010: CROSS-RESISTANCE TO THREE FREQUENTLY USED SULFONYLUREA HERBICIDES IN POPULATIONS OF *APERA SPICA-VENTI* FROM THE CZECH REPUBLIC. WEED RESEARCH **51**, 113-122.
- HRAC, 2011: HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (AVAILABLE [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG](http://www.weedscience.org)).
- KAMPE, W., 1975: ZUR AUFLAUFDYNAMIK VON ACKERFUCHSSCHWANZ (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*) UND WINDHALM (*APERA SPICA-VENTI*) IN DER PFALZ 1970-1974. GESUNDE PFLANZEN **27**, 133-138.
- KRATO, C. UND J. PETERSEN, 2010: SITUATION DER HERBIZIDRESISTENZ BEI UNGRÄSERN IN DEUTSCHLAND. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 273.
- MARCZEWSKA, K. UND H. ROLA, 2005: BIOTYPES OF *APERA SPICA-VENTI* AND *CENTAUREA CYANUS* RESISTANT TO CHLORSULFURON IN POLAND. PROCEEDINGS 2005 13TH EWRS SYMPOSIUM, BARI, ITALY, 197.
- MASSA, D. UND R. GERHARDS, 2011: INVESTIGATIONS ON HERBICIDE RESISTANCE IN EUROPEAN SILKY BENT GRASS (*APERA SPICA-VENTI*). JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **118**, 31-32.
- MASSA, D., B. KRENZ UND R. GERHARDS, 2011: TARGET-SITE RESISTANCE TO ALS-INHIBITING HERBICIDES IN *APERA SPICA-VENTI* POPULATIONS IS CONFERRED BY DOCUMENTED AND PREVIOUSLY UNKNOWN MUTATIONS. WEED RESEARCH **51**, 294-303.
- MEINLSCHMIDT, E. UND G. SCHRÖDER, 2011: DAMIT ES NICHT SOWEIT KOMMT – HERBIZIDRESISTENZEN. DLZ AGRARMAGAZIN PFLANZENBAU **2**, 2-5.
- MELANDER, B., N. HOLST, P.K. JENSEN, E.M. HANSEN UND J.E. OLESEN, 2007: *APERA SPICA-VENTI* POPULATION DYNAMICS AND IMPACT ON CROP YIELD AS AFFECTED BY TILLAGE, CROP ROTATION, LOCATION AND HERBICIDE PROGRAMMES. WEED RESEARCH **48**, 48-57.
- NIEMANN, P. UND P. ZWERGER, 2006: ÜBER HERBIZIDRESISTENZ BEI *APERA SPICA VENTI* (L.) P.B. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XX**, 81-88.
- NOVAKOVA, K., J. SOUKUP, J. WAGNER, P. HAMOUZ UND J. NÁMESTEK, 2006: CHLORSULFURON RESISTANCE IN SILKY BENT-GRASS (*APERA SPICA-VENTI* (L.) BEAUV.) IN THE CZECH REPUBLIC. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XX**, 139-146.
- RAFFEL, H., J. PETERSEN, J. GORNIK UND D. KAUNDUN, 2010: UNGRASRESISTENZ – WAS MÜSSEN WIR TUN UM DIE LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON WIRKSTOFFEN ZU ERHALTEN? JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 274.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, J. PAPANFUß, O. MALARSKI UND R. GEBHARD, 2004: WINDHALMBEKÄMPFUNG IM FRÜHJAHR MIT VERMINDERTEN AUFWANDMENGEN VON SULFONYLHARNSTOFFEN – EIN BAUSTEIN IM REDUKTIONSPROGRAMM. GESUNDE PFLANZEN **56**, 223-231.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, J. PAPANFUß, R. BALGHEIM UND I. PITTOF, 2006: REDUZIERUNG DES HERBIZIDEINSATZES IN WINTERGETREIDE DURCH DIE AUSRICHTUNG DER WIRKSTOFFKOMBINATIONEN UND DER AUFWANDMENGEN DER HERBIZIDE AUF DIE TYPISCH VORKOMMENDEN LEITVERUNKRAUTUNGEN – ERGEBNISSE VON MEHRJÄHRIGEN RINGVERSUCHEN DER LÄNDER BRANDENBURG, SACHSEN, SACHSEN-ANHALT, HESSEN UND THÜRINGEN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XX**, 683-690.
- SOUKUP, J., K. NOVÁKOVÁ, P. HAMOUZ UND J. NÁMESTEK, 2006: ECOLOGY OF SILKY BENT GRASS (*APERA SPICA-VENTI* (L.) BEAUV.), ITS IMPORTANCE AND CONTROL IN THE CZECH REPUBLIC. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SONDERHEFT XX**, 73-80.
- WOLBER, D.M., 2010: WIE AUF HERBIZIDRESISTENZEN REAGIEREN? GETREIDEMAGAZIN **3**, 148-154.
- WOLBER, D.M., 2011: HERBIZIDRESISTENZ UND HERBIZIDEMPFEHLUNGEN. GETREIDEMAGAZIN **3**, 16-26.
- ZWERGER, P., O. RICHTER, UND U. BÖTTCHER, 2002: STRATEGIEN GEGEN DIE ENTWICKLUNG VON EINFACH- UND MEHRFACH-HERBIZIDRESISTENZEN BEI UNKRÄUTERN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 383-390.

## Antagonistische Effekte mit Pinoxaden

*Antagonistic effects with pinoxaden*

Dirk Michael Wolber<sup>1\*</sup> & Holger Kreye<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Wunstorfer Landstraße 9  
D-30453 Hannover

<sup>2</sup>Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Braunschweig, Helene-Künne-Allee 5  
D-38122 Braunschweig

\*Korrespondierender Autor, dirk.wolber@lwk-niedersachsen.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.038

### Zusammenfassung

Das Herbizid Axial 50 enthält den Wirkstoff Pinoxaden und wird hauptsächlich zur Bekämpfung von *Apera spica-venti* (Gemeiner Windhalm) und *Alopecurus myosuroides* (Ackerfuchsschwanz) eingesetzt. Zur Bekämpfung von dikotylen Unkräutern benötigt Pinoxaden einen Mischpartner mit dikotyler Wirkung. Seit 2009 wurden in Niedersachsen erste Minderwirkungen von Axial 50 mit Mischpartnern festgestellt. Diese antagonistischen Effekte wurden in den Versuchsjahren 2010 und 2011 auf Versuchsflächen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen vertiefend untersucht. Die Wirkung von Pinoxaden (Axial 50 mit 0,9 l/ha) gegen *Apera spica-venti* unterschied sich in 2010 und 2011 nur geringfügig zwischen den Standorten bei der Betrachtung der Ergebnisse der Früh- bzw. der Endbonitur. Dagegen zeigt Pinoxaden mit Mischpartnern eine stärkere Streuung der Bonituren über die Standorte. Applikationen von Pinoxaden in Mischungen mit Sulfonylharnstoffen zeigen in späteren Entwicklungsstadien (BBCH 25-29) stärkere antagonistische Effekte als frühere Applikationen (BBCH 11-23). Mit zunehmender Luftfeuchtigkeit während der Behandlung nimmt die Wirkung von Pinoxaden sowie Pinoxaden und Mischpartner gegen *Apera spica-venti* zu, wogegen sich die Wirkung durch die Luftfeuchtigkeit drei Tage vor und nach der Behandlung geringfügig beeinflussen lässt. Eine vorhandene Herbizidresistenz gegen Sulfonylharnstoffe beeinflusst die Wirkung von Pinoxaden. Insbesondere Mischungen von Pinoxaden mit Concert SX, Gropper SX und Pointer SX zeigen antagonistische Effekte in der Wirkung, wenn gegen den ALS-Wirkmechanismus eine Resistenz vorhanden ist.

**Stichwörter:** *Apera spica-venti*, Axial 50, Tankmischungen

### Summary

The herbicide Axial 50 contains the active ingredient pinoxaden and is used to control against *Apera spica-venti* and *Alopecurus myosuroides*. For the control of dicotyledonous weeds, pinoxaden needs a completion with other herbicides. Since 2009, lower efficacy of pinoxaden with mixing partners was detected. These antagonistic effects were examined in the year 2010 and 2011 in field trials of the Landwirtschaftskammer Niedersachsen. In the different trials carried out in 2010 and 2011, the effect of pinoxaden (Axial 50 with 0.9 l/ha) against *Apera spica-venti* was nearly the same. But the effect of pinoxaden with mixing partners showed a high variation in the evaluations. Applications in growth stage BBCH 11-23 with pinoxaden and sulfonylurea as mixing partner showed less antagonistic effects than later treatments in BBCH 25-29. The higher the air humidity during the application, the more effective is the treatment of pinoxaden as well as pinoxaden in combination with a mixing partner against *Apera spica-venti*. The air humidity three days before or after application has only a low influence on the effect of the treatment. Herbicide resistance of *Apera spica-venti* against sulfonylurea herbicides has a negative influence on the effect of pinoxaden. Particularly mixtures of pinoxaden with Concert SX, Gropper SX and Pointer SX show antagonistic effects, if a resistance against this ALS-target exists.

**Keywords:** *Apera spica-venti*, Axial 50, tankmix

### 1. Einleitung

Der Wirkstoff Pinoxaden (ACCCase-Hemmer, Wirkstoffgruppe A nach HRAC) wird in Axial 50 mit 45 g a.i./ha (0,9 l/ha) zur Windhalmbekämpfung im Frühjahr eingesetzt, insbesondere nachdem Populationen von *Apera spica-venti* (APESV) zunehmend eine Sulfonylharnstoffresistenz aufweisen. Pinoxaden wirkt vorrangig gegen Ungräser wie Gemeinen Windhalm (*Apera spica-venti*), Flughäfer (*Avena fatua*), Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Weidelgräser (*Lolium* spp.). Zur Bekämpfung von dikotylen Unkräutern benötigt Axial 50 einen Mischpartner (RAFFEL et al., 2006). Erstmals in 2009 zeigten sich in Einzelversuchen mit Axial 50 in einer Aufwandmenge von 0,9 l/ha

(45 g Pinoxaden/ha) plus dem Mischpartner Primus (Florasulam 50 g/l) antagonistische Effekte in der Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz (BARTELS, 2009). In den Versuchsjahren 2010 und 2011 wurden unterschiedliche Tankmischungen aus Axial 50 plus Partner auf antagonistische Effekte überprüft.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Material

In den Versuchsjahren 2010 und 2011 wurden auf nachfolgenden Versuchsstandorten der Landwirtschaftskammer (LWK) Niedersachsen Exaktversuche durchgeführt.

**Tab. 1** Versuchsstandorte mit Resistenzstatus.

**Tab. 1** Test location with resistance status.

Jahr	Standort	Rispen in App.	Luft-feuchte bei App.	Luft-feuchte 3 Tage vor App.	Luft-feuchte 3 Tage nach App.	Tage zwischen Saat-termin und App.	Boden-feuchte bei App. 0=trocken; 1=feucht	Boden-art 0=leicht; 1=mittel bis schwer	Resistenz gegen Iodosulfuron (93,2 g/l) 0=nein; 1=ja	Beregnung 0=nein; 1=ja
2010	Aligse	563	72	60	70	139	1	0	0	1
2010	Feldbergen	179	68	85	85	152	1	1	0	0
2010	Hänigsen	83	60	65	60	164	1	0	0	1
2010	Jembke	502	65	75	70	198	1	0	1	1
2010	Oberlangen	408	75	95	70	167	1	1	0	0
2010	Vordorf	221	60	80	78	167	1	1	1	0
2011	Aligse	206	68	90	70	151	1	0	0	1
2011	Bad Laer	83	65	73	60	164	0	0	0	0
2011	Bakum	10	75	78	70	172	0	0	0	0
2011	Ehmen	1153	68	65	65	181	0	1	1	0
2011	Engensen	53	68	65	65	181	1	0	0	0
2011	Gersten	279	80	65	85	159	0	1	0	0
2011	Hänigsen	108	70	80	65	173	1	0	0	1
2011	Mölme	40	65	75	75	177	0	1	0	0
2011	Stalförden	29	70	75	65	185	0	1	0	0
2011	Vordorf	132	68	65	65	186	0	1	1	0

App. = Applikation

Die Wetterdaten entstammen den Wetterstationen der LWK Niedersachsen. Auf den Standorten Ehmen, Jembke und Vordorf konnten herbizidresistente Windhalmpopulationen gegen Sulfonylharnstoffe (Iodosulfuron 93,2 g/l) nachgewiesen werden (WOLBER et al., 2009; WOLBER, 2010, 2011b). Eine Herbizidresistenz gegen Pinoxaden ist auf diesen Standorten nicht festgestellt.

### 2.2 Methoden

Alle Versuche wurden als randomisierte Blockanlagen (1-faktoriell) mit vier Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße betrug 20 - 24 m<sup>2</sup>. Die Versuchsanlage und Durchführung erfolgte gemäß den EPPO Richtlinien:

EPPO Standard PP 1/181(3): Richtlinie zur Durchführung und Berichterstattung von Wirksamkeitsprüfungen

EPPO Richtlinie PP 1/93 (3) Unkräuter in Getreide sowie EPPO Richtlinie PP 1/135 (3) Bewertung der Phytotoxizität.

Die Applikation wurde an den Standorten zu verschiedenen Entwicklungsstadien der Kultur (BBCH 11 bis 29) mit einem Schachtner Parzellenspritzgerät durchgeführt (Wasseraufwandmenge mindestens 200 l/ha, Gehgeschwindigkeit 3,6 km/h, IDK 12002 2,4 bar, Spritzhöhe 50 cm). Die Kulturverträglichkeit und biologische Wirkung wurden visuell erfasst. Die Bewertung erfolgte

prozentual im Vergleich zur unbehandelten Kontrollparzelle. Das Auftreten der Unkräuter wird durch Zählung pro m<sup>2</sup> in den unbehandelten Kontrollen ermittelt.

Die ersten Bonituren von APESV (*Apera spica-venti*) wurden zwischen 2-8 Wochen nach Behandlung durchgeführt. Behandlungstermine wie auch Boniturtermine sind in Gruppen zusammengefasst. In der End- bzw. Abschlussbonitur wurden in den unbehandelten Kontrollen an fünf Stellen die Anzahl Rispen/m<sup>2</sup> ermittelt und daraus jeweils ein Mittelwert gebildet. In den behandelten Parzellen erfolgte die Abschlussbonitur mittels Schätzung der Unkrautwirkung (0 % = keine Wirkung, 100 % = volle Wirkung). Nachfolgende Versuchsvarianten wurden überprüft.

**Tab. 2** Versuchsvarianten.

**Tab. 2** List of test variants.

Versuchsvarianten	Wirkstoff des Mischpartners	Wirkprinzip des Mischpartners (Gruppe nach HRAC*)
Axial 50 (0,9 l/ha)		-
Axial 50 (0,9) + Primus (0,1 l/ha)	Florasulam (50 g/l)	ALS-Hemmer (B)
Axial 50 (0,9) + Gropper SX (0,03 kg/ha)	Metsulfuron (192,7 g/kg)	ALS-Hemmer (B)
Axial 50 (0,9) + Ariane C (1,0 l/ha)	Fluroxypyr (100 g/l) Florasulam (2,5 g/l) Clopyralid (80 g/l)	Indolessigsäure/Auxin-Hemmer (O) ALS-Hemmer (B) Indolessigsäure/Auxin-Hemmer (O)
Axial 50 (0,9) + Pointer SX (0,04 kg/ha)	Tribenuron (482,3 g/kg)	ALS-Hemmer (B)
Axial 50 (0,9) + Concert SX (0,1 kg/ha)	Metsulfuron (38,4 g/kg) und Thifensulfuron (384,5 g/kg)	ALS-Hemmer (B)
Axial 50 (0,9) + Duplosan DP (1,5 l/ha)	Dichlorprop-P (600 g/l)	Indolessigsäure/Auxin-Hemmer (O)

\* HRAC = Herbicide Resistance Action Committee

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Wirkungen der Varianten nach unterschiedlichen Behandlungsterminen

Die Versuchsstandorte werden nach den Behandlungsterminen dargestellt, wobei die Versuchsjahre 2010 und 2011 getrennt betrachtet werden. Die mittleren Wirkungsgrade der Behandlungsvarianten werden in Gruppen für den frühen Behandlungstermin (BBCH 11-13 der Kultur), den mittleren Behandlungstermin (BBCH 21-23 der Kultur) und den späten Behandlungstermin (BBCH 25-29 der Kultur) dargestellt. Die Bonitur von APESV (*Apera spica-venti*) erfolgt 2-8 Wochen nach Behandlung (Frühbonitur), dieser Zeitraum wurde in drei Gruppen (11-15 Tage, 24-28 Tage und 32-59 Tage) zur besseren Übersicht zusammengefasst.

ALS-Hemmer (HRAC-Gruppe: B) als Mischpartner: In beiden Versuchsjahren zeigte die frühe Behandlung im Zeitraum BBCH 11-23 einen höheren Bekämpfungserfolg als Behandlungen in BBCH 25-29. Antagonistische Effekte von Mischungen traten besonders bei Applikation in späteren Entwicklungsstadien stärker in Erscheinung. Im Versuchsjahr 2010 war der Bekämpfungserfolg mit Pinoxaden (Axial 50 mit 0,9 l/ha) ohne Mischpartner in BBCH 11-13 deutlich höher als mit einem Mischpartner. Dieser Effekt war im Versuchsjahr 2011 nicht in dieser Ausprägung festzustellen. Besonders die Mischpartner Concert SX (0,1 kg/ha), Pointer SX (0,04 kg/ha) und Gropper SX (0,03 kg/ha) senkten den Bekämpfungserfolg gegenüber der Soloanwendung von Axial 50. Dieser Effekt war in 2010 nach frühzeitiger Behandlung und in 2011 unabhängig vom Behandlungstermin festzustellen. Auch der Partner Primus (0,1 l/ha) deutete gegenüber dem Soloeinsatz von Pinoxaden (Axial 50 mit 0,9 l/ha) während der frühen Behandlung in 2010 und in 2011 eine verminderte Wirkung gegen Windhalm an. Dieser Effekt war zur späten Behandlung in 2011 nicht mehr feststellbar. Hier zeigt die Mischung mit Primus (0,1 l/ha) sogar eine verstärkte Wirkung gegen Windhalm.

Indolessigsäure/Auxin-Hemmer (HRAC-Gruppe: O) als Mischpartner: Bei dem Mischungspartner Ariane C (1,0 l/ha) war eine Wirkungsminderung gegenüber dem alleinigen Einsatz von Pinoxaden (Axial 50 mit 0,9 l/ha) mit Ausnahme der frühen Behandlung in 2010 und der späten Behandlung in 2011 kaum feststellbar. Duplosan DP minderte die Wirkung von Pinoxaden gegen Windhalm als Mischpartner, unabhängig vom Behandlungstermin. Nur in der späten Anwendung in 2010 zeigte die Mischung mit Duplosan DP vergleichbare Wirkungen wie Pinoxaden (Axial 50 mit 0,9 l/ha) ohne Mischpartner.

Die Luftfeuchtigkeit zum Zeitpunkt der Behandlung hatte auf die Wirkung der Behandlungen gegen APESV einen Einfluss von 23 %. Dagegen führte höhere Luftfeuchtigkeit (>10 %) drei Tage vor bzw. nach der Behandlung nur zu 10 bzw. 5 % besserer Wirkung. Entsprechend hatte die Luftfeuchtigkeit während der Behandlung einen höheren Einfluss auf den Bekämpfungserfolg gegen APESV als die Luftfeuchtigkeit vor oder nach der Behandlung.

### 3.2 Bonituren der Standorte

Die Wirkung von Pinoxaden gegen APESV unterscheidet sich in der Frühbonitur und in der Endbonitur nur geringfügig zwischen den Standorten, wogegen Pinoxaden mit Mischpartnern eine stärkere Streuung der Bonituren über die Standorte zeigt (Tab. 3 und 4).

Die Wirkung von Pinoxaden gegen APESV unterschied sich in der Frühbonitur und in der Endbonitur nur geringfügig zwischen den Standorten. Dagegen führte die Mischung aus Pinoxaden plus Partnern zu einer größeren Streuung der Ergebnisse der jeweiligen Variante über die Standorte (Tab. 3 und 4).

Die höchste Streuung der Endbonituren war zwischen den Standorten in 2010 für die Mischung mit Gropper SX ( $s = 7,5$ ), Concert SX ( $s = 7,4$ ), Pointer SX ( $s = 7,5$ ) festzustellen. Im Jahr 2011 waren die Streuungen der Endbonituren geringer als in 2010. Die größte Streuung der Endbonituren zwischen den Standorten war in 2011 für die Mischung mit Gropper SX ( $s = 6,1$ ) sowie eine mittlere Streuung für die Varianten Duplosan DP ( $s = 3,0$ ) und Concert SX ( $s = 2,6$ ) festzustellen.

Eine vorhandene Herbizidresistenz gegen Sulfonylharnstoffe beeinflusst die Wirkung von Pinoxaden wenn Mischpartner dazukommen. Die Varianten Pinoxaden (Axial 50 mit 0,9 l/ha) ohne Mischpartner und Axial 50 plus Primus zeigen die höchsten Wirkungen in der Abschlussbonitur, unabhängig ob eine Herbizidresistenz gegen Sulfonylharnstoffe auf diesem Standort bekannt ist oder nicht.

**Tab. 3** Wirkungen gegen APESV (Endbonituren) für die Standorte in 2010.

**Tab. 3** Efficacy against APESV (last rating) for the test locations in 2010.

	Aligse	Feld- bergen	Hänigsen	Jembke	Ober- langen	Vordorf	Standard- abw.
Axial 50 (0,9) + Concert SX (0,1 kg/ha)	78		97	92	99	94	7,4
Axial 50 (0,9 + Duplosan DP (1,5 l/ha)	84	98	99		97	98	5,6
Axial 50 (0,9 + Gropper SX (0,03 kg/ha)	78	97	98	98	100	95	7,5
Axial 50 (0,9 + Pointer SX (0,04 kg/ha)	78	95	99	93	99	99	7,4
Axial 50 (0,9 + Primus (0,1 l/ha)	84	97	97	100	100	96	5,4
Axial 50 (0,9 l/ha)	96	99	100	96	100	100	1,7
Axial 50 (0,9 + Ariane C (1,0 l/ha)	89	98	99	100	100	100	3,9

**Tab. 4** Wirkungen gegen APESV (Endbonituren) für die Standorte in 2011.**Tab. 4** Efficacy against APESV (last rating) for the test locations in 2011.

	Aligse	Bad Laer	Bakum	Ehmen	Engen-sen	Gersten	Hänigsen	Mölme	Stal-förden	Vor-dorf	Standard-abw.
Axial 50 (0,9) + Concert SX (0,1 kg/ha)	99	99	98			100	98	91	99	98	2,6
Axial 50 (0,9 + Duplosan DP (1,5 l/ha)	98	100	90			98	99	97	99	99	3,0
Axial 50 (0,9 + Gropper SX (0,03 kg/ha)	98	99	98	79	100	100	98	96	99	97	6,1
Axial 50 (0,9 + Pointer SX (0,04 kg/ha)	99	98	100			100	99	96	98	99	1,2
Axial 50 (0,9 + Primus (0,1 l/ha)	99	100	100	99	100	100	99	99	100	100	0,6
Axial 50 (0,9 l/ha)	99	100	100	99	100	100	99	99	100	100	0,5
Axial 50 (0,9 + Ariane C (1,0 l/ha)	99	96	100			100	99	99	100	100	1,3

Auch bei den Frühbonituren zeigen sich auf den Standorten mit einer Herbizidresistenz gegen Sulfonylharnstoffe (Ehmen, Jembke, Vordorf) geringere Wirkungen gegen *Apera spica-venti* als auf den Standorten ohne bekannte Herbizidresistenz. Allerdings verdeutlicht die Frühbonitur nur einen sehr geringen Unterschied zwischen den Varianten, so dass eine relative Vorzüglichkeit von Pinoxaden ohne Mischpartner auf Standorten mit Sulfonylharnstoffresistenz nur in der Endbonitur deutlich wird.

#### 4. Diskussion

Mischungen von ACCase-Hemmern und Sulfonylharnstoffen zeigen in der Praxis häufiger Wirkungsminderungen oder sogar antagonistische Effekte (WOLBER, 1999). In der Literatur sind häufiger antagonistische Effekte zu ACCase-Hemmern und Wuchsstoffen zu finden (OLSON und NALEWAJA, 1981; SHU et al., 1994, 1995). Allerdings kann das Phänomen der antagonistischen Effekten und deren Ursachen bisher nicht vollständig erklärt werden (HALL, 2004). Antagonistische Effekte lassen sich kaum in einem einfachen linearen Modell beschreiben (BLOUIN und ZHANG, 2004). In der Literatur werden vier Ursachen zur Entwicklung von antagonistischen Effekten beschrieben (HATZIOS und PENNER, 1985; GREEN, 1989; ZHANG, 1995).

1. Biochemischer Antagonismus: Wirkung eines Herbizids wird durch Bindung, metabolischer Inaktivierung oder verminderter Aufnahme vermindert,
2. Antagonismus durch Konkurrenz: Wirkung eines Herbizids wird durch Bindung eines anderen Herbizids behindert,
3. Physiologischer Antagonismus: Zwei Herbizide behindern sich gegenseitig durch unterschiedliche biologische Effekte,

4. Chemischer Antagonismus: Ein Herbizid reagiert chemisch mit einer anderen Substanz und wird in der Wirkung behindert.

Mindestens ein Prozess oder auch mehrere sind beim Auftreten von antagonistischen Effekten bei der Aufnahme, dem Transport oder der Metabolisierung bzw. Entgiftung in der Pflanze beteiligt (ZHANG, 1995; HALL, 2004). Bei der Aufnahme treten überwiegend antagonistische und seltener synergistische Effekte auf, unabhängig ob zwei Herbizide am gleichen oder unterschiedlichen Organ der Pflanze eintreten (ZHANG, 1995). Auch beim Transport in der Pflanze treten überwiegend antagonistische Effekte auf, unabhängig davon ob im Phloem oder im Xylem immer nur ein Herbizidwirkstoff vorrangig transportiert wird (ZHANG, 1995). Dieser Effekt des Wirkstofftransports bewirkt auch, dass in monokotylen Pflanzen eher antagonistische Effekte festzustellen sind als in Dikotylen. Monokotyle haben längere Transportwege bis zwei konkurrierende Wirkstoffe die aktiven Meristeme erreichen (DAMALAS, 2004). Meristeme liegen bei Dikotylen meist oben, nahe der Blattaufnahme. Monokotyle haben ihre Meristeme in tieferen Lagen, meist weit entfernt von der Blattaufnahme der Wirkstoffe.

Der Phloemtransport bedingt, dass die Moleküle in leicht saurem Zustand vorliegen müssen und das für deren Transport Saccarose notwendig ist (LICHTNER, 1986). In Abhängigkeit von dem molekülspezifischen Saccaroseverbrauch sind wirkstoffspezifische Transportraten für unterschiedliche Sulfonylharnstoffe möglich (LICHTNER, 1986). Die antagonistischen Effekte der Mischungen treten bei Applikation in späteren Entwicklungsstadien stärker in Erscheinung. Nach DAMALAS (2004) ist der gezielte Entgiftungsprozess bei jüngeren Pflanzen schwächer ausgebildet. Die Aufnahme und der Transport von zwei konkurrierenden Wirkstoffen ist in jüngeren Pflanzen effektiver (DAMALAS, 2004). Gehören zwei Herbizide einer ähnlichen chemischen Struktur an und haben sie auch einen ähnlichen Abbau- bzw. Entgiftungsprozess in der Pflanze, sind synergistische Effekte häufiger zu beobachten als antagonistische Effekte (ZHANG, 1995).

Bei unterschiedlichen chemischen Strukturen, unterschiedlichen Wirkungsweisen („Mode of Action“) und unterschiedlichen Abbau- bzw. Entgiftungsprozessen überwiegen eher antagonistische Effekte zwischen zwei Herbiziden in der Mischung (ZHANG, 1995). Pinoxaden gehört zu der chemischen Gruppe der Phenylpyrazoline und wird in Axial 50 mit dem Safner Cloquintocet-metyl kombiniert (RAFFEL et al., 2004). Die Wirkstoffaufnahme von Pinoxaden erfolgt über die Blätter der Schadgräser mit einer anschließenden basi- und akropetalen Verlagerung in der Pflanze, wobei die akropetale Verlagerung überwiegt (RAFFEL et al., 2006). Pinoxaden greift in die Lipidbiosynthese (ACCCase-Hemmer) ein.

Die Herbizide der ALS-Gruppe greifen dagegen in die Synthese von Aminosäuren ein und stören so den Protein- oder Enzymaufbau; die Effekte sind wirkstoffspezifisch. Die Frage, wie die hier untersuchten Wirkstoffkombinationen sich gegenseitig stören und antagonistische Effekte entstehen, kann anhand der hier durchgeführten Untersuchungen nicht beantwortet werden. Es wären weitere Untersuchungen notwendig, insbesondere Experimente mit radioisotop markierten Wirkstoffen (SHU et al., 1995) könnten neue Ergebnisse liefern. Der Wirkstoff Pinoxaden wird mit 50 g/l in der vollen zugelassenen Aufwandmenge zur Windhalmbekämpfung als Axial 50 (0,9 l/ha) zur Mischung mit Alliance, Primus, Starane 180, Starane XL, Biathlon, Loreda, MCPA (bis 900 g Aktivsubstanz/ha), Ciral, Gropper SX (Wirkungsschwächen gegen Windhalm), IPU (bis 1000 g Aktivsubstanz /ha), Aniten Super, Ariane C und Duanti vom Hersteller empfohlen (RAFFEL, 2011). Anhand der beschriebenen Versuchsergebnisse sind Mischungen von Pinoxaden (Axial 50) nur mit Primus und Ariane C zu empfehlen. Weiterhin liegen gute Erfahrungen zu Mischungen mit Starane XL vor (WOLBER, 2011a).



**Tab. 5** Mischpartner für Axial 50 (RAFFEL, 2011).**Tab. 5** *Mixing partners for Axial 50 (RAFFEL, 2011).*

Mischpartner	Wirkstoff und Wirkstoffgruppe nach HRAC	Bemerkung
Alliance	Metsulfuron - Methyl 60 g/kg (B) Diflufenican 600 g/kg	
Primus	Florasulam 50 g/l (B)	
Starane XL	Fluroxypyr 100 g/l (O) Florasulam 2,5 g/l (B)	
Biathlon	Tritosulfuron 714 g/kg (B)	
Loredo	Mecoprop-P 500 g/l (O) Diflufenican 33 g/l F1)	
MCPA	MCPA 500 g/l (O)	bis 900 g Aktivsubstanz /ha
Starane 180	Fluroxypyr 180 g/l (O)	
Ciral	Flupyralsulfuron 308 g/kg (B) Metsulfuron 161 g/kg (B)	
Gropper SX	Metsulfuron 192,7 g/kg (B)	Wirkungsschwäche gegen Windhalm
IPU	Isoproturon 500 g/l (C2)	Bis 1000 g Aktivsubstanz /ha
Aniten Super	loxynil 180 g/l (C3) Mecoprop-P 290 g/l (O)	Nur zur Bekämpfung von <i>Apera spica-venti</i> , nicht gegen <i>Alopecurus myosuroides</i>
Ariane C	Fluroxypyr 100 g/l (O) Florasulam 2,5 g/l (B) Clopyralid 80 g/l (O)	Nur zur Bekämpfung von <i>Apera spica-venti</i> , nicht gegen <i>Alopecurus myosuroides</i>
Duanti	Fluroxypyr 40 g/l (O) Clopyralid 20 g/l (O) MCPA 200 g/l (O)	Nur zur Bekämpfung von <i>Apera spica-venti</i> , nicht gegen <i>Alopecurus myosuroides</i>

Andere Herbizide der Wirkstoffgruppen ALS-Hemmer (Gruppe B nach HRAC) oder Indoleessigsäure/Auxin-Hemmer (Gruppe O nach HRAC) sind als Mischpartner nach den dargestellten Ergebnissen nicht zu empfehlen. Ausschließlich Primus, Ariane C und Starane XL zeigen in den Versuchsjahren 2010 und 2011, dass sie der Wirkung von Pinoxaden nicht nachhaltig entgegenwirken. Laut Hersteller kann die Mischung von Pinoxaden plus Ariane C gegen *Alopecurus myosuroides* zu schwankenden Wirkungen führen (RAFFEL, 2011). Bei reduzierten Mengen von Pinoxaden in Mischung mit Concert SX sind antagonistische Effekte bei großen *Apera spica-venti* zu beobachten (RAFFEL, 2011). Der stärkste antagonistische Effekt ist bei Mischungen von Pinoxaden plus Pointer SX oder Refine Extra unabhängig von der Gräserart festzustellen (RAFFEL, 2011). Der Hersteller von Pinoxaden schließt weiterhin die Mischung mit carfentrazonhaltigen Produkten (Artus, Platform S, Oratio und Lexus Class) sowie bifenoxyhaltigen Produkten (Fox, Foxtril Super) aus, da hier Pflanzenschäden der Kultur möglich sind (RAFFEL, 2011). Pflanzenschäden sind auch bei Mischungen von Pinoxaden mit TrioFlex oder HerbaFlex zu beobachten (RAFFEL, 2011).

Es wurde gezeigt, dass die Luftfeuchtigkeit während der Behandlung einen deutlich stärkeren Einfluss auf die Wirkung von Pinoxaden und Pinoxaden plus Sulfonylharnstoffpartner hat als die Luftfeuchtigkeit nach der Applikation. Auch die Luftfeuchtigkeit vor der Behandlung hat einen gewissen Einfluss, dessen Ausmaß allerdings bei länger andauernder Hochdruckwetterlage und entsprechend undurchlässigerer Blattoberfläche oder verminderter Aufwandmengen in der Applikation noch zunehmen kann (RAFFEL, 2011).

Eine vorhandene Herbizidresistenz gegen Sulfonylharnstoffe bewirkt in den vorliegenden Untersuchungen, dass die Wirkung von Pinoxaden in Mischung mit Sulfonylharnstoffen ebenfalls

nachlässt und nur Pinoxaden ohne Mischpartner oder Axial 50 plus Primus noch ausreichende Wirkungsgrade gegen APESV erreicht. Dieser Zusammenhang wurde in der vorhandenen Literatur bislang noch nicht beschrieben. Das liegt sicherlich in der Tatsache begründet, dass der Selektivitätsverlust einzelner APESV-Populationen gegen Sulfonylharnstoffe sehr rasch ging (WOLBER, 2010, 2011b) und hier noch erst wenige Kenntnisse über mögliche Ursachen vorliegen. Bei einem Selektivitätsverlust von Sulfonylharnstoff gegen APESV liegt die verbleibende Wirkung im Frühjahrseinsatz auf dem Wirkstoff Pinoxaden oder weiteren flufenacethaltigen Bodenherbiziden, die allerdings nur im Herbst zum Einsatz kommen. Denkbar wäre, dass auch ein Selektivitätsverlust von Pinoxaden gegen APESV ebenso schnell stattfinden kann oder bereits stattgefunden hat und noch nicht in der Praxis sichtbar ist. Eine Wirkung von Pinoxaden könnte sich bei einem beginnenden Selektivitätsverlust durch einen antagonistischen Effekt darstellen oder von diesem überlagert werden. Um diesen Zusammenhang genauer betrachten zu können, sind intensive metabolische Studien zu Pinoxaden auf den untersuchten Standorten notwendig.

## Literatur

- BARTELS, M., 2009: VERSUCHSBERICHT DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, BEZIRKSSTELLE NORTHEIM UND ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR INTEGRIERTE PFLANZENPRODUKTION SÜDHANNOVER E.V., 57.
- BLOUIN, D., E. WEBSTER AND W. ZHANG, 2004: ANALYSIS OF SYNERGISTIC AND ANTAGONISTIC EFFECTS OF USING NONLINEAR MIXED-MODEL METHODOLOGY. *WEED TECHNOLOGY* **18**, 464-472.
- DAMALAS, C.A., 2004: INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY 06-1, 209-212.
- GREEN, J.M., 1989: HERBICIDE ANTAGONISM AT THE WHOLE PLANT LEVEL. *WEED TECHNOLOGY* **3**, 217-226.
- HALL, G., 2004: ACCASE ANTAGONISM, UNVERÖFFENTLICHT, PERSÖNLICHE MITTEILUNG.
- HATZIOS, K.K. AND D. PENNER, 1985: INTERACTIONS OF HERBICIDES WITH OTHER AGROCHEMICALS IN HIGHER PLANTS. *REVIEWS OF WEED SCIENCE* **1**, 1-63.
- RAFFEL, H, K. BASSERMANN AND B. DÜFER, 2004: SYD 11410 H – EIN NEUES HERBIZID ZUR BEKÄMPFUNG VON UNGRÄSER IM GETREIDEBAU MITTEILUNGEN AUS DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT **396**.
- RAFFEL, H., P. NIELSEN UND W. RÜEGG, 2006: AXIAL – EINFLUSS DES ANWENDUNGSZEITPUNKTES AUF DIE WIRKUNGSSICHERHEIT GEGEN SCHADGRÄSER IN GETREIDE. *JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION SPECIAL ISSUE XX*, 1039-1046.
- RAFFEL, H., 2011: AXIAL UND FREIGEGBENE MISCHPARTNER, MÜNDLICHE MITTEILUNG.
- LICHTNER, F.T. 1986: PHLOEM TRANSPORT OF AGRICULTURAL CHEMICALS. IN: LISS, A.R.: PHLOEM TRANSPORT, INC., 601-608.
- OLSON, W. A. AND J. D. NALEWAJA, 1981: ANTAGONISMIC EFFECTS OF MCPA ON WILD OAT (*AVENA FATUA*) CONTROL WITH DICLOFOP. *WEED SCIENCE* **29**, 566-571.
- SHU H.L., A.I. HSIAO AND W.A. QUICK, 1994: INTERACTION BETWEEN IMAZAMETHABENZ AND FENOXAPROP IN WILD OAT CONTROL AND CROP TOLERANCE. *CROP PROTECTION* **13**, 525-530.
- SHU H.L., A.I. HSIAO, W.A. QUICK, T.M. WULF AND J.A. HUME, 1995: EFFEKT VON MCPA UND FENOXAPROP AUF PHYTOTOXIZITÄT, RETENTION, FOLIAR UPTAKE UND TRANSLOCATION VON IMAZAMETHABENZ IN WILD OAT. *CROP PROTECTION* **14**, 275-281.
- WOLBER, D.M., 1999: MISCHUNGEN VON PFLANZENSCHUTZ- UND DÜNGEMITTELN IM GETREIDE – MÖGLICHKEITEN UND RISIKEN –, TOP AGRAR, AUSGABE 12.
- WOLBER, D.M., G. WARNECKE-BUSCH UND T.-H. NIEHOFF, 2009: GRÄSER UND UNKRÄUTER FRÜHZEITIG BEHANDELN. *GETREIDEMAGAZIN*, HEFT 1, 4-18.
- WOLBER, D.M., 2010: RESISTENZVERMEIDUNG IM BLICKFELD. *LAND & FORST*, HEFT 5, 16-24.
- WOLBER, D.M., 2011a: HERBIZIDEMPFEHLUNGEN UND MISCHPARTNER, UNVERÖFFENTLICHT.
- WOLBER, D.M., 2011b: HERBIZIDRESISTENZ UND HERBIZIDEMPFEHLUNGEN. *GETREIDEMAGAZIN* **3**, 16-26.
- ZHANG, J., 1995: ANTAGONISM AND SYNERGISM BETWEEN HERBICIDES: TRENDS FROM PREVIOUS STUDIES. *WEED TECHNOLOGY* **9**, 86-90.

## **Was macht(e) Terbutylazin zum Basiswirkstoff der chemischen Unkrautbekämpfung im mitteleuropäischen Maisanbau? Eine Nutzenbetrachtung**

*Why has Terbutylazine become the basic component of weed control in maize cropping of Central Europe? A benefit assessment*

Martin Schulte\*, Magnus Steinheuer, Bert Düfer & Thomas Räder  
Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, D-63477 Maintal  
\*Korrespondierender Autor, martin.schulte@syngenta.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.039

### **Zusammenfassung**

Der Herbizidwirkstoff Terbutylazin wurde in der Saison 2011 im deutschen Maisanbau auf etwa 86 % aller Maisanbauflächen zur Unkrautbekämpfung eingesetzt. Der anhaltende Markterfolg dieses mittlerweile 45 Jahre alten Wirkstoffs lässt sich mit der Summe wichtiger anwendungstechnischer Eigenschaften, aber auch dem verantwortungsvollen Umgang erklären. Zu charakteristischen Wirkstoffeigenschaften zählen ein breites Wirkungsspektrum, überlegene Residualaktivität, Anwendungsflexibilität vom Vor- bis zum späten Nachauflauf, hervorragende Maisverträglichkeit, geringe Bodenmobilität, wahrnehmbare Wirkungsgeschwindigkeit sowie Eignung als Partner für andere Wirkstoffe. Dank seiner Kombinationsfähigkeit hat Terbutylazin seine Bedeutung im Maisanbau seit seiner Einführung unverändert behalten, obwohl dort stets mit dem ubiquitären Auftreten triazinresistenter Unkraut-Biotypen gerechnet werden muss. In einem Deutschland und Österreich umfassenden Unkrautmonitoring mit Wirksamkeitsprüfung in den Jahren 2008 und 2009 wurde neben der Wirkungsbreite von Terbutylazin auch die Wirksamkeit einer Mischung mit dem 4-HPPD-Hemmer Mesotrione gegen triazinresistente Unkraut-Biotypen vergleichend belegt. 4-HPPD-Hemmer werden neben Photosystem-II-Hemmern als Mischpartner bevorzugt, weil sie mit Terbutylazin einen physiologischen Synergismus eingehen. Die Ausnutzung dieser Eigenschaft erlaubt eine Aufwandmengen-Reduktion. Mittels gezielter Nachauflauf-Anwendung optimierter Mischpräparate wird neben einer erhöhten Wirkungssicherheit auch eine auffällige Steigerung der Wirkungsgeschwindigkeit erreicht. Kombinationen aus Terbutylazin und residual wirksamen Gräserpartnern bieten den Vorteil einer umfassenden Bekämpfung der Unkraut- und Ungrasflora in Mais mit nur einmaliger Überfahrt. Terbutylazin erfasst auch Unkräuter, die sich mit anderen maisspezifischen Herbizidwirkstoffen nicht zufriedenstellend bekämpfen lassen. Aus Gründen des vorbeugenden Grundwasserschutzes wird seit 1991 ein gezieltes Wirkstoffmanagement für Terbutylazin durch Hersteller und Zulassungsinhaber betrieben. Es sieht eine Beschränkung des Einsatzes auf die Kultur Mais, eine Anwendung ausschließlich in Mischpräparaten im Frühjahr, eine maximale Aufwandmenge von 750 g/ha und den Verzicht des Einsatzes auf grundwassersensiblen Flächen (z. B. im offen liegenden Jurakarst) vor. Diese Maßnahmen haben sich als überaus erfolgreich erwiesen; bei ihrer konsequenten Einhaltung kann Terbutylazin auch künftig als der zentrale Basiswirkstoff der chemischen Unkrautbekämpfung in Mais mit den entsprechenden Vorteilen für die Anwender Verwendung finden.

**Stichwörter:** Blattwirkung, Bodenwirkung, Dauerwirkung, Wirkstoffmanagement

### **Summary**

Terbutylazine was used for weed control in German maize cropping in 2011 on nearly 86 % of total maize acreage. The ongoing success of this 45 year old herbicide can be explained by the various features for its use in maize as well as by responsible handling and care. Characteristic features of terbutylazine are a broad controlled weed spectrum, superior residual activity, application timing flexibility from pre- to late post-emergence, excellent crop tolerance, low soil mobility, perceivable speed of efficacy and suitability as partner for other active ingredients. Thanks to its combinability, terbutylazine has maintained its importance in maize cropping, although the ubiquitous occurrence of triazine-resistant biotypes always has to be expected. In a weed monitoring in Germany and Austria in the 2008 and 2009 field season, the broad controlled weed spectrum and the efficacy of terbutylazine in mixture with the 4-HPPD-inhibitor mesotrione on triazine-resistant weed biotypes have been proven comparatively. 4-HPPD-inhibitors are preferred mixture partners due to their physiological synergism in combination with terbutylazine. This feature enables a reduction of use rate of both terbutylazine and mixture partner. Targeted post-emergence application of optimized pre-mixture herbicides achieves enhanced reliability and a noticeable increase of speed of efficacy. Combinations of terbutylazine and residual graminicides offer the advantage of an all-embracing control of grass and broad-

leaved weed flora in maize by one pass only. Terbutylazine is also effective against weeds not controlled adequately by other maize-selective herbicides. For reasons of preventative ground water protection, since 1991 a targeted management of the active ingredient terbutylazine is carried out by manufacturers and registration holders. It envisages a limitation of terbutylazine usage in maize only, one use per season in mixture with other active ingredients in spring only, and a maximum use rate of 750 g/ha. For treatments in areas with vulnerable groundwater situations (e. g. in open exposed Jurassic Karst formations) other herbicides than terbutylazine containing products are strongly recommended. These measures have been demonstrated to be successful; in case of consequent compliance with these stewardship measures terbutylazine can be continuously used as basic active ingredient in chemical weed control in maize for the future, maintaining all the advantages of this active substances for agriculture in Europe.

**Keywords:** Duration of activity, foliar activity, management of active ingredient, residual activity

## 1. Einleitung

Mit Terbutylazin steht der Landwirtschaft für die Unkrautbekämpfung in Mais ein seit nahezu drei Jahrzehnten bewährter Wirkstoff mit einer zuverlässigen Wirksamkeit auf ein breites Spektrum einjähriger Unkräuter und ausgewählter Ungräser zur Verfügung. Die weltweite Erstpublikation von Terbutylazin erfolgte im Jahre 1966, die erste deutsche Zulassung eines Terbutylazin-Präparats in Mais wurde 1983 für GARDOPRIM<sup>®</sup> 500 FLÜSSIG erteilt. Der Wirkstoff zeichnet sich durch seine außerordentlich hohe Kulturverträglichkeit in Mais, seine rasche Blattwirkung und ganz wesentlich durch seine hervorragende Bodenwirkung auch auf nach der Applikation keimende Unkrautarten aus.

Ziel der vorliegenden experimentellen Untersuchungen war die Überprüfung der Vorkommenshäufigkeit triazinempfindlicher und -resistenter Unkrautpopulationen in Mais und die Wirksamkeit ihrer Bekämpfung durch Terbutylazin und kommerzielle Mischpräparate. Damit sollte eine Abschätzung der Bekämpfungssicherheit des Maisunkrautpektrums mittels Terbutylazin-Präparaten vorgenommen werden.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Herbizide

Die geprüften herbiziden Wirkstoffe in Gewächshaus- und Feldversuchen wurden als formulierte Handelsware appliziert, Terbutylazin als Suspensionskonzentrat mit 500 g/l Wirkstoff, die Fertigformulierung CALARIS<sup>®</sup> 400 SC als Suspensionskonzentrat mit 330 g/l Terbutylazin und 70 g/l Mesotrione

### 2.2 Gewächshaus- und Feldversuche

Die vergleichende Prüfung der Wirksamkeit von Terbutylazin im Vor- und Nachauflauf erfolgte in den Forschungseinrichtungen der Syngenta AG im Rahmen von Routinecharakterisierungen neuer Wirkstoffe an einer Standardauswahl von Pflanzen, die in Kunststoffwannen in biologisch aktiven mineralischen Ackerboden (Herkunft „Stein/Möhlin“, Lehm, 21 % T, 31 % U, 44 % S, pH 7,5, 2,32 % C<sub>org</sub>, Kationenaustauschkapazität 19,05 meq/100 g) eingesät wurden. Für die Voraufbauanwendung wurden gestaffelte standardisierte Aufwandmengen unmittelbar nach der Saat der Testpflanzen mit praxisüblicher Sprühapplikation in 500 l/ha Wasser als Trägermedium auf die Bodenoberfläche appliziert; die analoge Nachauflaufapplikation fand gleichzeitig an etwa drei Wochen früher ausgesäten Pflanzen statt. Die Einsaaten wurden anschließend im Gewächshaus bei Umgebungstemperatur (15-20 °C Tagestemperatur für Arten gemäßigter, 18-25 °C für Arten wärmerer Klimate) kultiviert und regelmäßig nach Bedarf gegossen. Die Biomasseentwicklung des Aufwuchses wurde ca. drei Wochen nach der Behandlung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle visuell bonitiert.

In Feldversuchen der Jahre 2008 und 2009 wurde Terbutylazin auf 188 Standorten in Maisanbaugebieten in Deutschland und Österreich vergleichend mit anderen Wirkstoffen und Herbizidmischungen auf Wirksamkeit gegen triazinresistente und -sensitive Unkrautbiotypen geprüft. Die Versuche waren hierzu mit ein- bis vierfacher Wiederholung und einer Parzellengröße von

mindestens 15 m<sup>2</sup> angelegt, um sowohl das Unkrautaufreten (Häufigkeit) als auch die Wirksamkeit verschiedener Herbizid-Behandlungen erfassen zu können. Minderwirkungen reiner Terbutylazin-Behandlungen sollten dabei auf Verdachtsfälle triazinresistenter Biotypen hinweisen. Die Herbizid-Applikation erfolgte im Nachauflauf der Unkräuter und Ungräser schwerpunktmäßig zum Mais-Stadium BBCH 12-14 und (bei Auftreten) Schadhirsens-Stadium BBCH 11-13. Zur Erfassung der Wirkungsgrade wurde die Reduktion des Unkrautaufwuchses im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle visuell bonitiert.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Wirkungsbreite und zeitliche Anwendungsflexibilität

Terbutylazin besitzt sowohl bei Wurzelaufnahme aus dem Boden als auch nach Blattaufnahme ein sehr hohes Wirkungspotenzial auf ein breites annuelles Artenspektrum. Dikotyle reagieren gewöhnlich empfindlich, während unter den Gräsern nur die Bekämpfung pooider Arten mit höheren Aufwandmengen möglich ist; die dem Mais verwandten Hirsen sind unempfindlich (Tab. 1). Unter den Ackerbaukulturen verhalten sich nur Mais und Sorghum ausreichend physiologisch selektiv, wengleich einige großsamige Kulturen eine hinreichende Positionselektivität aufweisen können. Diese begründet weltweite Zulassungen zum Vorauflauf-Einsatz z. B. in Kartoffel, Sonnenblumen oder Lupinen, aber auch im Obst- und Weinbau.

**Tab. 1** Wirksamkeit von 500 und 1000 g/ha Terbutylazin unter Gewächshausbedingungen nach Vor- und Nachauflaufapplikation auf ein Standard-Testpflanzenpektrum bedeutsamer annueller Arten im mitteleuropäischen Ackerbau (% visuelle Reduktion Biomasse, Bonitur ca. 21 Tage nach Applikation, Mittel aus acht Gewächshaus-tests).

**Tab. 1** Efficacy of 500 and 1000 g/ha terbutylazine under greenhouse conditions after pre- and post-emergent application, using key annual species occurring in Central European cropping (% visual biomass reduction, assessment ca. 21 days after application, mean from eight greenhouse tests).

Aufwandmenge	Vorauflauf-Applikation		Nachauflauf-Applikation	
	500 g/ha	1000 g/ha	500 g/ha	1000 g/ha
Gerste	75	97	45	63
Weizen	73	92	43	73
Mais	0	5	3	4
Sojabohne	37	75	64	89
Raps	100	100	88	98
Zuckerrüben	100	100	100	100
<i>Alopecurus myosuroides</i>	90	98	78	98
<i>Avena fatua</i>	97	100	61	86
<i>Bromus tectorum</i>	85	100	71	90
<i>Lolium perenne</i>	80	98	44	71
<i>Setaria faberi</i>	22	30	28	33
<i>Sorghum halepense</i> (aus Samen)	3	7	5	10
<i>Digitaria sanguinalis</i>	20	42	15	18
<i>Echinochloa crus-galli</i>	32	47	31	41
<i>Cyperus esculentus</i>	5	20	9	23
<i>Abutilon theophrasti</i>	82	98	51	69
<i>Amaranthus retroflexus</i>	87	87	76	80
<i>Chenopodium album</i>	83	83	68	74
<i>Polygonum convolvulus</i>	100	100	93	95
<i>Sinapis arvensis</i>	100	100	96	100
<i>Stellaria media</i>	100	100	90	99
<i>Galium aparine</i>	68	92	71	75
<i>Veronica persica</i>	100	100	89	95

Die herbizide Wirksamkeit von Terbutylazin auf annuelle Arten im Vorauflauf erweist sich unter Standardbedingungen im Gewächshaus mehrheitlich als etwas höher als im Nachauflauf, was insbesondere für flachkeimende pooider Ungräser deutlich wird. Großsamige Arten, die aus größerer Tiefe keimen und auflaufen können, werden im Vorauflauf mit den heute zum Einsatz kommenden

Aufwandmengen von 750 g/ha und weniger nicht immer ausreichend bekämpft. Der Nachaufauf-einsatz zeigt sich gegen solche Arten als wirkungssicherer. Aufgrund der geringen innerpflanzlichen Translokation, die nach Aufnahme über Wurzel oder Blatt ausschließlich akropetal im Xylem erfolgt, verhält sich Terbutylazin wie ein Kontaktwirkstoff, der auf kleinere Pflanzen eine höhere Wirksamkeit gewährleistet als auf größere. Die Aufnahmemöglichkeit über Blatt und Boden zusammen mit der hohen physiologischen Selektivität verleiht Terbutylazin in Mais eine hohe zeitliche Anwendungsflexibilität vom Vor- bis zum fortgeschrittenen Nachaufauf.

### 3.2 Wirksamkeitsprüfungen beim Unkrautmonitoring 2008-2009

Obwohl der Alleineinsatz von Terbutylazin in der Praxis wegen des Auftretens triazinresistenter Unkrautbiotypen seit mehr als 25 Jahren nicht mehr üblich ist, zeigten 500 g/ha Terbutylazin im Nachaufauf auch ohne Mischpartner auf der überwiegenden Mehrzahl der Standorte eine unverändert hohe Wirksamkeit. Die im Rahmen des Deutschland und Österreich umfassenden Unkrautmonitorings der Jahre 2008 und 2009 mit der Nachaufaufbehandlung von Terbutylazin erzielten Bekämpfungsgrade lagen auf vielen Arten im Bereich der ausreichenden bis sehr guten Wirksamkeit (Tab. 2). Unter den auftretenden Ungräsern wies nur *Poa annua* eine nennenswerte Empfindlichkeit gegen Terbutylazin auf, während unter den dikotylen Arten überwiegend perennierende wie *Convolvulus arvensis* und *Calystegia sepium* nicht ausreichend bekämpft wurden. Die beobachteten hohen Bekämpfungsgrade von *Cirsium arvense* und *Rumex obtusifolius* erklären sich möglicherweise durch die Behandlung von aus Samen auflaufenden Pflanzen im Mais.

**Tab. 2** Bekämpfungserfolge von 500 g/ha Terbutylazin und einer Mischformulierung aus 495 g/ha Terbutylazin und 105 g/ha Mesotrione im Nachaufauf in Mais (Medianwerte und Streuung über die Versuchsjahre 2008-2009, % visuelle Reduktion Biomasse; Auswertung 14-42 Tage nach Applikation; nur Arten mit  $n > 1$ ; n: Anzahl Versuchsergebnisse).

**Tab. 2** Post-emergent weed control and crop tolerance of 500 g/ha Terbutylazine and a premix formulation containing 495 g/ha terbutylazine and 105 g/ha mesotrione (median values and variation 2008-2009, % visual biomass reduction; evaluation 14-42 days after application; only species with no. of results > 1; n: no of trials).

Art	n	Terbutylazin 500 g/ha				Terbutylazin 495 g/ha + Mesotrione 105 g/ha			
		Median	Mittelwert	Min	Max	Median	Mittelwert	Min	Max
<i>Elymus repens</i>	15	30,0	47,7	0	100	50,0	46,7	0	100
<i>Alopecurus myosuroides</i>	18	10,0	34,2	0	100	72,5	53,0	0	100
<i>Apera spica-venti</i>	5	50,0	52,0	0	100	85,0	75,0	40	100
<i>Digitaria</i> spp.	18	20,0	43,1	0	100	45,0	52,7	0	100
<i>Echinochloa crus-galli</i>	98	25,0	35,9	0	100	95,0	84,1	0	100
<i>Equisetum arvense</i>	6	25,0	33,0	0	98	45,0	51,7	0	100
<i>Lolium</i> spp.	7	42,5	42,5	0	100	44,5	55,1	10	96
<i>Poa annua</i>	34	80,0	67,3	0	100	98,0	78,7	0	100
<i>Setaria</i> spp.	26	27,5	38,8	0	100	77,3	64,4	0	100
<i>Anagallis arvensis</i>	3	100	100	100	100	100	96,7	90	100
<i>Amaranthus</i> spp.	27	98,0	78,4	0	100	100	98,8	80	100
<i>Atriplex</i> spp.	26	85,0	73,6	27,5	100	100	97,3	80	100
<i>Bidens tripartita</i>	2	50,0	50,0	0	100	100	100	100	100
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	30	100	96,5	0	100	100	96,4	0	100
<i>Centaurea cyanus</i>	4	99,0	94,5	80	100	100	100	100	100
<i>Chenopodium</i> spp.	161	80,0	75,9	0	100	100	98,8	75	100
<i>Cirsium arvense</i>	14	100	75,6	0	100	100	92,1	0	100
<i>Convolvulus arvensis</i> , <i>Calystegia sepium</i>	18	25,0	43,1	0	100	85,0	67,3	0	100

Art	n	Terbutylazin 500 g/ha				Terbutylazin 495 g/ha + Mesotrione 105 g/ha			
		Median	Mittelwert	Min	Max	Median	Mittelwert	Min	Max
<i>Euphorbia heterophylla</i>	4	87,5	86,3	70	100	100	100	100	100
<i>Fumaria officinalis</i>	2	87,5	87,5	75	100	99,5	99,5	99	100
<i>Galeopsis</i> spp.	5	99,0	76,8	0	100	99,0	90,8	65	100
<i>Galium aparine</i>	31	50,0	49,3	0	100	99,0	94,2	70	100
<i>Galinsoga</i> spp.	14	100	93,8	50	100	100	98,9	90	100
<i>Geranium</i> spp.	24	80,0	70,9	0	100	98,5	86,9	0	100
<i>Lamium</i> spp.	41	100	86,3	0	100	100	99,6	90	100
<i>Matricaria</i> spp.	59	45,0	50,5	0	100	100	94,0	40	100
<i>Mercurialis annua</i>	6	82,5	65,8	0	100	99,5	94,8	80	100
<i>Myosotis arvensis</i>	8	100	99,6	98	100	100	94,9	65	100
<i>Papaver</i> spp.	6	99,0	73,8	10	100	99,8	99,6	99	100
<i>Plantago major</i>	2	95,0	95,0	90	100	100	100	100	100
<i>Polygonum aviculare</i>	42	72,5	58,1	0	100	100	95,4	60	100
<i>Polygonum convolvulus</i>	77	75,0	58,8	0	100	99,0	93,0	40	100
<i>Polygonum lapathifolium</i>	28	75,0	65,8	0	100	100	96,2	60	100
<i>Polygonum amphibium</i>	5	50,0	56,0	0	100	100	99,6	99	100
<i>Polygonum persicaria</i>	27	90,0	71,3	0	100	100	95,0	55	100
<i>Rumex</i> spp.	2	92,5	92,5	85	100	99,5	99,0	99	100
<i>Senecio vulgaris</i>	4	87,5	73,8	20	100	100	100	100	100
<i>Sinapis arvensis</i>	3	90,0	63,3	0	100	99,0	66,3	0	100
<i>Solanum nigrum</i>	48	90,0	76,4	0	100	100	97,3	67	100
<i>Sonchus</i> spp.	3	100	99,7	99	100	100	99,7	99	100
<i>Stellaria media</i>	80	100	86,3	0	100	100	98,5	0	100
<i>Thlaspi arvense</i>	30	100	83,3	0	100	100	96,5	0	100
<i>Urtica urens</i>	3	90,0	70,0	20	100	98,5	97,8	95	100
<i>Veronica</i> spp.	20	100	97,3	80	100	100	99,3	95	100
<i>Viola</i> spp.	45	99,0	76,5	0	100	100	91,3	0	100
Ausfall-Getreide	8	5,0	38,8	0	100	50,0	50,0	0	100
Ausfall-Raps	13	90,0	74,8	0	100	100	90,2	0	100
Durchwuchs-Kartoffel	8	50,0	52,0	0	99	79,0	82,9	0	100

Wirkungsgrade von Terbutylazin von im Schnitt 80 % oder weniger gegen Keimlinge empfindlicher annueller Arten deuten im Regelfall auf Mischpopulationen mit Anteilen triazinresistenter Biotypen hin. Nachgewiesen wurde das Auftreten solcher Biotypen in Mitteleuropa unter anderem für *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus lividus*, *Amaranthus retroflexus*, *Atriplex patula*, *Bidens tripartita*, *Chenopodium album*, *Chenopodium ficifolium*, *Chenopodium polyspermum*, *Epilobium tetragonum*, *Erigeron canadensis*, *Galinsoga ciliata*, *Matricaria chamomilla*, *Poa annua*, *Polygonum aviculare*, *Polygonum convolvulus*, *Polygonum lapathifolium*, *Senecio vulgaris*, *Solanum nigrum*, *Sonchus asper*, *Stellaria media* (HEAP, 2011; <http://www.weedscience.org>).

Die mit 500 g/ha Terbutylazin erzielten unzureichenden Wirksamkeitsergebnisse mit Streuungen von 0 bis 100 % und niedrigen Median- oder Mittelwerten legen vor dem oben geschilderten Hintergrund einen Triazinresistenzverdacht unter den geprüften Arten für Populationen folgender Arten nahe: *Amaranthus* spp., *Atriplex* spp., *Bidens tripartita*, *Chenopodium* spp., *Matricaria* spp., *Polygonum aviculare*, *P. convolvulus*, *P. lapathifolium*, *Polygonum persicaria*, *Solanum nigrum*, *Poa annua* und *Stellaria media*. *Thlaspi arvense* weist bei einer hohen Anzahl an Ergebnissen niedrige Mittelwerte bei höheren bis sehr hohen Medianwerten auf, sodass hier punktuell

Triazinresistenzverdacht nicht auszuschließen ist. Eine geringe Anzahl an Ergebnissen bei Streuungen zwischen 0 und 100 % und sehr hohen Mittel- und Medianwerten erlaubt keine Aussage über die Ursache der Minderwirkung. Für *Convolvulus arvensis*, *Calystegia sepium* und *Cirsium arvense* wie auch Ausfall-Kulturen kann eine geringe grundlegende Empfindlichkeit (*baseline sensitivity*) gegen Terbutylazin angenommen werden. Um den Triazinresistenzverdacht zu bestätigen, wurden von einer begrenzten Anzahl von Fundorten an Arten mit Minderwirkung zusätzlich PCR-Analysen des psbA-Gens durchgeführt (nicht dargestellt). Dieses Gen codiert das D1-Bindeprotein im Reaktionszentrum des Photosystems II und ist für eine veränderte Bindensite für Triazin-Herbizide verantwortlich. Sie ergaben in 35 % der untersuchten Stichproben eine Mutation, die eine Wirkort-Triazinresistenz verursachen kann. Betroffene Arten waren *Chenopodium album*, *Solanum nigrum* und *Polygonum convolvulus* (SCHULTE und RÄDER, 2010).

Für die höhere Wirksamkeit und Wirkungssicherheit der Fertigmischung aus Terbutylazin und Mesotrione gegen die Mehrzahl der geprüften Arten (ersichtlich an der geringeren Variation) sind neben dem zweiten, auch triazinresistente Biotypen erfassenden Wirkungsmechanismus, zusätzlich additive und synergistische Effekte der Summe zweier Wirkstoffe zu berücksichtigen (SCHULTE et al., 2002).

## 4. Diskussion

### 4.1 Einsatzgründe

Ein Terbutylazin vergleichbares Wirkungsspektrum auf Unkräuter und Ungräser mit Blatt- und überlegener Boden- und Dauerwirkung weist kein anderer der bekannten maisselektiven Herbizidwirkstoffe auf. Das in Tabelle 2 gezeigte Wirkungsspektrum von Terbutylazin enthält mit *Geranium* spp., *Veronica* spp., *Papaver* spp. und *Urtica urens* annuelle Arten, die mit anderen maisselektiven Herbizidwirkstoffen nicht oder nur ungenügend bekämpft werden können.

Die hohe Wirkungsdauer bis zum Reihenschluss des Maises aufgrund der herbiziden Bodenaktivität von Terbutylazin wurde wiederholt in vergleichenden Feldversuchen mit gestaffelter Einsaat von Unkräutern nach Voraufaufapplikation des Herbizids nachgewiesen (SCHULTE und HAAS, 2004). Diese wichtige Eigenschaft von Terbutylazin findet sich auch in Kombinationspräparaten und Tankmischungen. Aufgrund dessen eignet sich Terbutylazin unter den maisselektiven Herbizidwirkstoffen am besten zur Unkrautbekämpfung mit nur einmaliger Überfahrt, da er eine überlegene Dauerwirkung gegen alle empfindlichen dikotylen Arten mit einer hohen Maisselektivität und breitem Wirkungsspektrum auch im Nachaufauf verbindet.

Der Anteil der Herbizidbehandlungen mit nur einmaliger Überfahrt nahm in den letzten Jahren in Deutschland stets zwischen 88 % und 92 % der Maisanbaufläche ein (Tab.3). Auch in Unkrautbekämpfungssystemen mit herbizidresistenten Maissorten und komplementären, nur blattwirksamen Breitbandherbiziden kann Terbutylazin aufgrund seiner Residualwirkung wesentliche ergänzende Bekämpfungsleistungen beitragen (STELLING et al., 2000). Wichtige Gründe für die langjährige Anwendung von Terbutylazin als Basiskomponente der chemischen Unkrautbekämpfung in Mais lassen sich damit wie folgt auflisten:

- Außerordentlich hohe Wirkungsbreite einschließlich einiger Ausfallkulturen und mit anderen Wirkstoffen schwierig bekämpfbarer annueller Arten,
- Dauerwirkung auf alle nach der Behandlung auflaufende annuelle Arten,
- Hohe zeitliche Anwendungsflexibilität aufgrund Boden- und Blattwirkung,
- Hervorragende Maisverträglichkeit in Hybridsorten und den allermeisten Inzuchtlinien.

Die zuverlässige Wirkung von Terbutylazin gegen ein breites Spektrum dikotyler Unkräuter und einiger Ungräser wird jedoch durch das Auftreten triazinresistenter Unkraut- und Ungrasbiotypen eingeschränkt. Geeignete Maßnahmen zum Resistenzmanagement minimieren die Gefährdung durch solche Biotypen. Zu diesem Zweck werden seit Bekanntwerden solcher Biotypen Triazin-Herbizide mit Wirkstoffen anderer Wirkmechanismen in Fertig- oder Tankmischungen kombiniert. In Deutschland wurden seit 1985 fertig formulierte Mischungen mit Photosystem-II-Hemmern



(Bromfenoxim, Bromoxynil, Pyridat, Bentazon) und seit 2006 mit Mesotrione angeboten (SCHULTE und HAAS, 2004). In den vorliegenden Untersuchungen belegen dies die mit der Mischung CALARIS® aus Terbutylazin und dem 4-HPPD-Hemmer Mesotrione erzielten Ergebnisse. Insbesondere gegen Arten, für die das Vorkommen triazinresistenter Biotypen nachgewiesen wurde, erreichte die Mischung im Einzelfall wie auch im Mittel stets deutlich höhere Bekämpfungsgrade als Terbutylazin im Alleineinsatz. Das Konzept der Zumischung von Wirkstoffen mit anderem Wirkungsmechanismus hat damit den Wert von Terbutylazin zur Unkrautbekämpfung über einen Zeitraum von mehr als 30 Jahren nach der erstmaligen Entdeckung der Triazinresistenz in Mitteleuropa unverändert erhalten. Auch residual nicht ausreichend von Terbutylazin erfasste, nach Behandlung auflaufende Schadpflanzen können mit Wirkstoffen anderen Mechanismen problemlos bekämpft werden. Ein möglicher Verlust an ökologischer Fitness könnte dafür verantwortlich sein, dass triazinresistente Biotypen gegenüber anderen Wirkstoffen noch empfindlicher reagieren.

Neben Photosystem-II-Hemmern werden seit ihrer Entdeckung und Zulassung in jüngerer Zeit 4-HPPD-Hemmer als Mischpartner für Terbutylazin bevorzugt, weil sie einen physiologischen Synergismus eingehen (SCHULTE et al., 2002). Die Ausnutzung dieser Eigenschaft erlaubt eine Aufwandmengenreduktion beider Wirkstoffe. Die auffällige Steigerung der Wirkungsgeschwindigkeit aufgrund dieses Synergismus ist ein vom Anwender geschätzter Nebeneffekt. Die derzeit in Deutschland und Österreich zur Bekämpfung dikotyler Unkräuter vertriebenen Fertigmischungen basieren allesamt auf den Mischpartnern Pyridat, Bentazon, Bromoxynil und Mesotrione. Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass neben triazinresistenten dikotylen Arten auch Gräser nicht ausreichend von Terbutylazin erfasst werden. Da Gräser in der Regel vergesellschaftet mit breitblättrigen Unkräutern auftreten, haben sich in der landwirtschaftlichen Praxis Kombinationen aus Terbutylazin zuzüglich Mischpartnern gegen triazinresistente Unkrautbiotypen sowie residual oder blattwirksamen Gräserpartnern zur umfassenden Bekämpfung der Unkraut- und Ungrasflora in Mais mit nur einmaliger Überfahrt durchgesetzt.

#### 4.2 Wirkstoffmanagement

Ende 2011 bestanden in Deutschland neun gültige Zulassungen und vier Vertriebsweiterungen für Präparate mit dem Wirkstoff Terbutylazin zum Einsatz in Mais. Terbutylazinhaltige Herbizide wurden in der Saison 2011 in Deutschland auf nahezu 86 % der Maisanbaufläche zur Unkrautbekämpfung eingesetzt. Der über den Betrachtungszeitraum 2000 bis 2011 stetig mit dem Maisanbau zunehmende Einsatzumfang und der gestiegene Anteil der Terbutylazin-behandelten Anbaufläche belegen die vom Anwender geschätzte einzigartige Kombination der oben geschilderten Eigenschaften (Tab. 3). Auch der hohe Anteil der Einfach-Applikation (nur eine Überfahrt zur chemischen Unkrautbekämpfung) sowohl innerhalb der mit Terbutylazin-Präparaten behandelten als auch der insgesamt mit Herbiziden behandelten Maisfläche belegt, dass die Anbauer die Eigenschaft dieses Wirkstoffes, auch nach der Applikation auflaufende einjährige Unkräuter noch zu erfassen, intensiv nutzen.

**Tab. 3** Einsatz terbutylazinhaltiger Herbizide in Mais in Deutschland während der letzten 12 Jahre (Quellen: <sup>1</sup> KLEFFMANN GROUP und eigene Berechnungen, <sup>2</sup> Deutsches Statistisches Bundesamt).

**Tab. 3** Use of terbutylazine containing herbicides in Germany from 2000-2011.

	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2011
Anzahl vertriebener Terbutylazin-Herbizide <sup>1</sup>	9	10	12	18	22	30	31
Mais-Anbaufläche <sup>2</sup> ['000 ha]	1'515	1'518	1'710	1'747	2'087	2'296	2'519
- davon mit Terbutylazin behandelt <sup>1</sup> [%]	61,1	62,9	68,5	71,1	80,0	84,8	85,9
- darin Anteil Einfachapplikationen <sup>1</sup> [%]	92	88	90	92	92	90	88
Anteil der Einfachbehandlungen an allen Maisherbizid-Anwendungen <sup>1</sup> [%]	90	88	90	92	92	90	88

Aus Gründen des vorbeugenden Grundwasserschutzes wird seit 1997 ein gezieltes Wirkstoffmanagement für Terbutylazin durch Hersteller und Zulassungsinhaber betrieben (KÜCHLER et al., 2002, 2003). Es sieht folgende Beschränkungen des Einsatzes vor:

- Nur in den Kulturen Mais und Sorghum,
- Anwendung ausschließlich in Mischpräparaten bis zum 15. Juli eines Jahres,
- Maximale Aufwandmenge von 750 g/ha je Saison,
- Verzicht auf den Einsatz in wassersensiblen Gebieten, z. B. im offen liegenden Jurakarst.

Diese Maßnahmen haben sich als überaus erfolgreich erwiesen, um das Risiko von Einträgen in Grund- und Oberflächengewässer auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Maisanbaufläche zu minimieren. Rückblickend betrachtet ist durch das erfolgreiche Wirkstoffmanagement für Terbutylazin der Beleg erbracht, dass gezielte Produktentwicklung und Produktsteuerung einen nachhaltigen Produkterhalt erbringen kann. Bei der konsequenten Einhaltung dieses Wirkstoffmanagements kann Terbutylazin auch künftig als der zentrale Basiswirkstoff der chemischen Unkrautbekämpfung in Mais Verwendung finden - mit den genannten Vorteilen für die Anwendung in Mais.

### Literatur

- KLEFFMANN GROUP, 2000-2010: AMIS®CROP PROTECTION MAIS DEUTSCHLAND 2000-2010.
- KÜCHLER, T., H. RESSELER, B. DÜFER UND M. LEFÈVRE, 2002: MONITORING VON TERBUTHYLAZIN IN OBERFLÄCHENGEWÄSSERN AN ABSCHWEMMUNGSGEFÄHRDETEN MAISFELDERN ZUR ÜBERPRÜFUNG DER WIRKSAMKEIT VON ABSTANDSAUFLAGEN - ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK. MITTEILUNGEN AUS DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT **390**, 136.
- KÜCHLER, T., B. DÜFER, H. RESSELER, M. SCHULTE UND D. CORNES, 2003: TERBUTHYLAZINE IN MAIZE – A MODEL EXAMPLE OF PRODUCT STEWARDSHIP AND SAFE USE. THE BCPC INTERNATIONAL CONGRESS - CROP SCIENCE AND TECHNOLOGY, GLASGOW. ABSTRACTS, **VOL. 2**, 953-958.
- SCHULTE, M. UND H. U. HAAS, 2004: SYD 11'460 H - EINE INNOVATIVE LÖSUNG ZUR BEKÄMPFUNG VON UNKRÄUTERN UND UNGRÄSERN IN MAIS. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XIX**, 657-665.
- SCHULTE, M. UND T. RÄDER, 2010: SYNGENTA MAISUNKRAUTMONITORING 2008-2009 - NACHWEIS VON WIRKORTRESISTENZ GEGEN PS-II-HEMMER ANHAND VON BLATTPROBEN. TAGUNG DES DPG-AK HERBLOGIE, 17.2.2010, FRANKFURT/M-HOECHST.
- SCHULTE, M., W. RUEEGG UND P.B. SUTTON, 2002: SYNERGIE VON MESOTRIONE, S-METOLACHLOR UND TERBUTHYLAZIN IN DER BEKÄMPFUNGSTRATEGIE VON MAISUNKRÄUTERN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 785-793.
- STELLING, D., M. SCHULTE UND A. AMANN, 2000: STRATEGIEN DER UNKRAUTBEKÄMPFUNG MIT LIBERTY® IN LIBERTYLINK® MAIS. MITTEILUNGEN AUS DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT **376**, 154-155.

## Unkrautkonkurrenz und Biomassebildung von Mais und Sorghum bei unterschiedlicher Herbizidintensität

*Weed competition and biomass production of maize and sorghum under different herbicide intensity level*

Hans-Peter Söchting\* & Peter Zwinger

Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig

\*Korrespondierender Autor, hans-peter.soechting@jki.bund.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.040

### Zusammenfassung

Die Biogaserzeugung gewinnt immer noch an Bedeutung wobei dem Mais als Energiepflanze der höchste Stellenwert beizumessen ist. Da die Zunahme des Maisanbaues nicht nur positiv zu sehen ist, stellt sich die Frage, wie dabei eine größere Umweltverträglichkeit erreicht werden kann und bis zu welchem Grad eine Verunkrautung von Flächen, die zur Biogaserzeugung verwendet werden sollen, tolerabel ist, da ja auch das Unkraut zur Biomasseproduktion beiträgt und die Biodiversität durch größere Artenvielfalt erhöht werden könnte.

Unter diesen Aspekten wurden auf Versuchsflächen des JKI in der Nähe von Braunschweig in den Jahren 2008 bis 2010 drei Mais- und zwei Sorghumsorten (*Sorghum bicolor* und *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) in praxisüblicher Aussaatstärke in vier Wiederholungen ausgesät. Nachdem die Sorghumpflanzen das Entwicklungsstadium BBCH 13-14 erreicht hatten, erfolgte eine variierte Herbizidanwendung. Dabei wurde das Herbizid Gardo Gold (Terbuthylazin 187,5 g/l + S-Metolachlor 312,5 g/l) mit der vollen (4 l/ha) oder halben (2 l/ha) zugelassenen Aufwandmenge appliziert. Eine dritte Variante blieb unbehandelt. Ziel des Versuches war es, Unterschiede bei der Entwicklung der Verunkrautung und der Biomassebildung der Kulturarten zu ermitteln. Unkrautarten und Unkrautdeckungsgrad wurden zu mehreren Terminen bestimmt. Zum Abschluss wurde die Trockenmasse/m<sup>2</sup> von Kulturpflanzen und Unkraut ermittelt.

Die Ergebnisse der drei Versuchsjahre ergaben für die Maissorten immer einen höheren Biomasseertrag als für Sorghum (nicht immer signifikant).

Hinsichtlich der Auswirkung der Herbizidbehandlungen auf den Biomasseertrag zeigte sich durchweg eine Abstufung zwischen den Varianten wobei sich mit der hohen Herbizidaufwandmenge von 4 l/ha Gardo Gold in 2008 und 2009 bis auf eine Ausnahme der höchste Kulturpflanzenbiomasseertrag erzielen ließ. In Versuchsjahr 2010 waren die Ergebnisse wesentlich komplexer und die höchsten Biomasseerträge wurden nicht zwangsläufig in den Varianten mit der hohen Herbizidaufwandmenge erzielt.

**Stichwörter:** Biodiversität, Energiepflanzen, Ertrag, Unkrautdeckungsgrad

### Summary

The production of biogas still gains importance with maize being the most important crop for bioenergy production. However, the increasing area planted with maize has been considered as not being only beneficial. The question therefore arises whether the growing cultivation of maize can be conducted in a more environmentally sustainable way and to which degree a certain level of weed infestation can be tolerated in fields used for biomass production. As weeds may also contribute to the amount of biomass produced on a field and increase the in-field biodiversity, a certain weed infestation in maize for biogas production might be tolerable.

Under these aspects, a field trial was conducted on the experimental fields of the JKI near Braunschweig between 2008 and 2010. Three maize cultivars and two sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* and *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) were sown at normal seeding densities with four replicates. At growth stage BBCH 13-14 of the sorghum-plants, the herbicide Gardo Gold (terbuthylazin 187,5 g/l + S-metolachlor 312,5 g/l) was applied at the registered dose (4 l/ha) or half-dose (2 l/ha). An untreated plot without any herbicide application was included.

The aim of the experiment was to investigate differences in the development of the weed infestation level and the biomass yields of the crops. Assessments of the weed species and weed coverage were carried out at several times during the growing season.

At the end of the experiment, the dry matter/m<sup>2</sup> of the crops and weeds were determined. The results of the

three years showed a higher biomass yield for the maize cultivars compared with the sorghum cultivars (not always significant).

Regarding the effect of the herbicide application on the biomass yields, a clear difference between the variants was observed only in 2008 and 2009 with the highest yield under the registered application rate of 4 l/ha Gardo Gold (one exception). In 2009 and 2010, the results were more complex and the maximum biomass yield was not necessarily reached in the variants with the highest herbicide rate.

**Keywords:** Biodiversity, energy crops, weed coverage, yield

## 1. Einleitung

Entsprechend den Zielen des Nationalen Biomasseaktionsplans ist in Deutschland eine deutliche Steigerung des Bioenergieanteils an der Energieversorgung unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien angestrebt (BMVEL und BMU, 2009). Bereits 2009 wurde auf einer Fläche von mehr als 240.000 ha Energiemais angebaut (DEUTSCHES MAISKOMITEE, 2009). Mais bietet sich als Energiepflanze durch eine hohe Energie-, Nährstoff- und Wassernutzungseffizienz sowie geringe Fruchtfolgerestriktionen und einen hohen Mechanisierungsgrad an. Allerdings sind mit dem zunehmenden Maisanbau auch Probleme wie gesteigerte Erosionsschäden, Nitratauswaschung und geringere Biodiversität verbunden. Neben Mais ist auch Hirse bzw. Sorghum in den Fokus potentieller Pflanzen, die zur Biomasseerzeugung genutzt werden, gerückt. Sowohl bei Mais als auch bei Sorghum wird der Unkrautbekämpfung große Bedeutung beigemessen. Inwieweit eine Reduktion der Unkrautbekämpfung möglich ist bzw. Unkräuter zur Biomasseproduktion beitragen, wurde in einem dreijährigen Feldversuch untersucht.

## 2. Material und Methoden

Die Versuchsanlage mit den Kulturarten Mais und Sorghum befand sich auf Flächen des Versuchsbetriebs des Julius Kühn-Instituts in der Nähe von Braunschweig. Das Versuchsdesign, eine randomisierte Streifenanlage mit vier Wiederholungen, war in den Versuchsjahren 2008 bis 2010 identisch. Die dabei verwendeten Mais- und Sorghum-Sorten werden in Tabelle 1 und 2 näher beschrieben:

**Tab. 1** Beschreibung der Maissorten (Bundessortenliste 2011).

**Tab. 1** *Characteristics of the maize cultivars (Bundessortenliste 2011).*

Sorten	Jahr der Zulassung	Reife-gruppe	Silo-Reifezahl	Abreifegrad Blatt*	Gesamt Trockenmasse*
DK 2960	2006	m	S 250	4	6
NK Magitop	2006	m	S 240	-	-
Subito	2006	s	S 260	5	7

\*Die Ausprägung der Eigenschaften wird in der Bundessortenliste mit den Noten 1 – 9 ausgedrückt. Dabei bedeuten niedrige Noten eine geringe und hohe Noten eine starke Ausprägung der betreffenden Eigenschaft.

**Tab. 2** Beschreibung der Sorghumsorten (entsprechend der Unterlagen der Vertriebsfirmen).

**Tab. 2** *Characteristics of the sorghum cultivars (according to information of the trading companies).*

Sorte	Art	Verwendung/Beschreibung	Anbau	Ernte
Susu	<i>Sorghum bicolor</i> x <i>Sorghum sudanense</i>	Auch als Zweitfrucht (Anbau bis Ende Juni); Biogasanlagen	Drillsaat; Mitte Mai bis Ende Juni; Bodentemp. mind 16 °C	Mitte Sept. – Anfang Okt.
Sucrosurgo 506	<i>Sorghum bicolor</i>	Massige hochwüchsige Sorte mit hohem Frischmassegehalt; Wuchshöhe 3-4 m; Silagenutzung; Sehr gute Standfähigkeit; Abreife spät	Einzelkornsaat; Ab Mitte Mai Bodentemp. mind 16 °C; Saattiefe 3-4 cm; Saatmenge 25-30 Körner; Reihenweite 25 -70 cm	Anfang Okt.; Milch-Teigreife; TS-Gehalt 27-30%

Die Maissorten wurden mit 10, *Sorghum bicolor* mit 25 und *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* mit 40 Körnern/m<sup>2</sup> ausgesät. Die Parzellengröße betrug 6 x 20 m was die Nutzung von praxisüblichen Maschinen ermöglichte. Die Sorghum-Arten wurden mit einer Drillkombination mit einem Reihenabstand von 24 cm, der Mais mit einer pneumatischen Einzelkornmaschine gesät. Die Parzellen grenzten unmittelbar aneinander, so dass sich insgesamt ein praxisnaher Kulturpflanzenbestand ausbilden konnte. Die Düngung erfolgte mit 180 kg/ha N in zwei Gaben. Abgesehen von den unterschiedlichen Sorten war der Herbizideinsatz der zweite Versuchsfaktor. Drei Varianten, 4 l/ha Gardo Gold (Terbutylazin 187,5 g/l + S-Metolachlor 312,5 g/l), 2 l/ha Gardo Gold und eine unbehandelte Kontrolle, wurden verglichen. Die Herbizidapplikationen, mit einer praxisüblichen Pflanzenschutzmittelspritze, erfolgten im Entwicklungsstadium BBCH 13-14 der Sorghum-Pflanzen, da eine frühere Behandlung aus Gründen der Selektivität nicht möglich war. Vor der Applikation, dann zwei und vier Wochen nach der Applikation sowie zur Ernte erfolgte eine Unkrautbonitur der Bestände (fünf Zählstellen/Parzelle, Göttinger Zählrahmen), dabei wurde die Anzahl der Unkräuter nach Arten differenziert und der Deckungsgrad bestimmt. Weiterhin wurden das BBCH-Stadium der Kulturpflanzen und die Pflanzenlänge erfasst. Zur Ernte wurden flächenbezogen die Trockenmasse/m<sup>2</sup> von Kulturpflanzen und Unkraut bestimmt. Dazu wurden aus jeder Parzelle an zwei Stellen 2 x 2 m<sup>2</sup> getrennt nach Kultur und Unkraut per Hand geerntet. Die beiden Proben wurden als Einzelproben behandelt und nicht vermischt (zusätzliche Wiederholung). Das Erntegut wurde gewogen und die Kulturpflanzen mit einem umgebauten Maishäcksler zerkleinert. Aus dem Häckselgut wurden zwei repräsentative Proben gezogen für die später die Trockenmasse ermittelt wurde. Beim Unkraut wurde die komplette Probe getrocknet. Nach einer varianzanalytischen Verrechnung der Kulturpflanzen- und Unkrauterträge erfolgte ein multipler Mittelwertvergleich durch einen Tukey-Test. Die Irrtumswahrscheinlichkeit betrug  $\alpha = 0,05$ . Die Trockenmassegehalte von Mais und Sorghum zur Ernte (unbehandelte Kontrollen) sind in Tabelle 3 dargestellt.

**Tab. 3** Trockenmassegehalt (%) von Mais und Sorghum zur Ernte (unbehandelte Kontrolle).

**Tab. 3** *Drymatter (%) of maize and sorghum at harvest (untreated control).*

	Mais		Sorghum		
	DK 2960	Magitop	Subito	Susu	Sucrosurgo 506
2008	28,4	27,5	26,5	28,9	24,0
2009	35,9	33,1	34,1	30,3	24,9
2010	31,6	31,1	31,8	29,6	22,9

In Tabelle 4 werden Angaben zu Versuchsstandorten und Versuchsdurchführung gemacht.

**Tab. 4** Standortbeschreibung und Versuchsdurchführung.

**Tab. 4** *Description of trial sites and experimental protocol.*

Versuchsort Bodenart	2008	2009	2010
	Sicke Lehm	Sicke Lehm	Lucklum Lehm
Niederschlag im Versuchszeitraum (Aussaat bis Ernte)	257,2 mm	264 mm	406,5 mm
Durchschnittliche Temperatur im Versuchszeitraum	18,23 °C	18,04 °C	16,75 °C
Aussaat	28.04.	04.05.	11.05.
Herbizid-Applikation	27.05.	19.05.	08.06.
Ernte	15.09.	24.09.	06.10.
BBCH Sorghum zur Herbizid- Applikation	13-14	13-14	13-14
Bonituren	27.05.	18.05.	03.06.
	11.06.	05.06.	12.06.
	20.06.	15.07.	23.06.
	13.09.	20.09.	30.09.

### 3. Ergebnisse

Die Verunkrautung der Flächen in den drei Versuchsjahren wird in den Tabellen 5 und 6 beschrieben. Es geht daraus hervor, dass sowohl der Unkrautdeckungsgrad als auch die Unkrautarten in den drei Versuchsjahren erheblich variierten. Im ersten Versuchsjahr dominierten die Arten *Polygonum lapathifolium* (POLLA), *Mercurialis annua* (MERAN), *Chenopodium album* (CHEAL) und *Polygonum convolvulus* (POLCO) wobei sehr hohe Unkrautzahlen von durchschnittlich über 400 Pflanzen/m<sup>2</sup> gezählt wurden. Im zweiten Versuchsjahr war der Unkrautbesatz deutlich geringer wobei als Besonderheit der drei Versuchsjahre angemerkt werden muss, dass *Alopecurus myosuroides* (ALOMY) die dominierende Unkrautart war. Gegenüber dieser einkeimblättrigen Art besitzt das Herbizid Gardo Gold keine Wirkung, so dass die Art durch die Herbizidmaßnahmen nicht eliminiert wurde. Um dennoch unkrautfreie Parzellen für die Versuchsauswertung zu erhalten, wurde die Herbizidvariante mit 4 l/ha Gardo Gold per Hand von *Alopecurus myosuroides* befreit. Weitere Leitunkräuter im zweiten Versuchsjahr waren *Mercurialis annua*, *Veronica* spp. (VERSS), *Chenopodium album* und *Amaranthus retroflexus* (AMARE). Im dritten Versuchsjahr, mit den insgesamt geringsten Unkrautdeckungsgraden, waren nur *Mercurialis annua* (MERAN) und *Viola arvensis* (VIOAR) von Bedeutung die im Mittel über alle Parzellen 87 % aller gezählten Unkräuter ausmachten. In allen drei Versuchsjahren war die Unkrautverteilung in den Parzellen relativ ungleichmäßig (Tab. 5). Die dominanten Unkrautarten gehören mit Stetigkeiten von 3,9 % (*Mercurialis annua*) bis 79,7 % (*Chenopodium*-Arten) zu den häufig bis sehr häufig vorkommenden Unkrautarten in Mais (MEHRTENS, 2005).

**Tab. 5** Unkrautdichte (Pflanzen/m<sup>2</sup>, Mittelwert über alle Parzellen vor der Herbizidapplikation).

**Tab. 5** *Weed densities (plants/m<sup>2</sup>; mean of all plots before herbicide application).*

Jahr	Anzahl Unkräuter	Standardabweichung	Leitverunkrautung
2008	444,3	194	POLLA, MERAN, CHEAL, POLCO
2009	50,8	24,3	ALOMY, MERAN, VERSS, CHEAL, AMARE
2010	79,3	30,4	MERAN, VIOAR

Aus den Unkrautzahlen/m<sup>2</sup> und den verschiedenen Herbizidintensitäten resultierten die in Tabelle 6 aufgeführten Deckungsgrade kurz vor der Ernte. In der unbehandelten Kontrolle als Maßstab zeigten sich die drei Versuchsjahre sehr variabel. 2008 wurde ein Deckungsgrad von durchweg 100 %, 2009 zwischen 81 und 96 % und 2010 zwischen 41 und 66 % ermittelt. Hervorzuheben sind die hohen Deckungsgrade in der Variante mit 2 l/ha Gardo Gold in 2009, was auf den nicht bekämpften Acker-Fuchsschwanz zurückzuführen ist. In der Variante mit 4 l/ha Gardo Gold wurde dieser wie oben bereits beschrieben per Hand entfernt.

**Tab. 6** Unkrautdeckungsgrad (%) zur Ernte (in Klammern Standardabweichung).

**Tab. 6** *Weed coverage (%) at harvest (standard deviation in brackets).*

	Mais/DK			Sorghum/Sucrosurgo	
	2960	Mais/Magitop	Mais/Subito	Sorghum/Susu	506
<b>2008</b>					
Unbehandelt	100 (0)	100 (0)	100 (0)	100 (0)	100 (0)
2 l/ha Gardo Gold	12 (6,2)	12 (10,1)	10 (4,2)	21 (13,8)	25 (9,1)
4 l/ha Gardo Gold	3 (4,7)	2 (2,2)	0 (0,5)	1 (0,8)	1 (1,3)
<b>2009</b>					
Unbehandelt	88 (9,6)	85 (12,9)	81 (20,9)	93 (9,6)	96 (4,8)
2 l/ha Gardo Gold	73 (35)	78 (35,5)	75 (36,9)	93 (9,5)	76 (48,5)
4 l/ha Gardo Gold	0,5 (1,0)	2 (2,5)	3 (2,4)	3 (2,8)	4 (2,1)
<b>2010</b>					
Unbehandelt	43 (7,5)	55 (4,9)	66 (21,6)	41 (12,7)	50 (23,1)
2 l/ha Gardo Gold	4 (3,8)	4 (2,7)	15 (19,1)	3 (3,2)	5 (5,4)
4 l/ha Gardo Gold	1 (1,1)	2 (1,8)	2 (3,7)	1 (1,5)	2 (0,8)

In Tabelle 7 werden die Ertragsdaten der drei Versuchsjahre zusammenfassend dargestellt. Legt man die Varianten mit 4 l/ha Gardo Gold zugrunde, zeigte sich in allen drei Versuchsjahren eine z. T. deutliche Ertragsüberlegenheit der Maissorten gegenüber den beiden Sorghumsorten. Von diesen beiden erzielte Sucrosergo 506 in 2008 und 2010 höhere Trockenmasseerträge als Susu. In 2009 lagen die Erträge bei Susu etwas höher als bei Sucrosergo 506. Bei den Maissorten waren die von den Vertriebsfirmen als Energiemaissorten beworbenen Sorten Subito und Magitop der Sorte DK 2960 etwas überlegen.

**Tab. 7** Kulturpflanzen und Unkrauterträge (Trockenmasse dt/ha); Mittelwert der vier Wiederholungen\*.

**Tab. 7** Dry matter yield of crops and weeds (dt/ha); mean of the four replicates.

	Kulturpflanze Trockenmasse dt/ha			Unkraut Trockenmasse dt/ha		
	Kontrolle	Gardo Gold 2 l/ha	Gardo Gold 4 l/ha	Kontrolle	Gardo Gold 2 l/ha	Gardo Gold 4 l/ha
<b>2008</b>						
Mais/DK 2960	105,6 <sup>a</sup>	212,2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	210,8 <sup>ac</sup> <sub>b</sub>	30,4 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,5 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Mais/Magitop	84,6 <sup>a</sup>	199,4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	233,7 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	35,1 <sup>a</sup>	9,7 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,8 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Mais/Subito	134,5 <sup>a</sup>	227,4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	242,3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	25,0 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Sorghum/Susu	24,3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	120,7 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	150,6 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	41,7 <sup>a</sup>	8,8 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,0 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Sorghum/Sucrosergo	48,1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	134,6 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	170,5 <sup>bc</sup> <sub>b</sub>	33,1 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,0 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
<b>2009</b>						
	Kontrolle	Gardo Gold 2 l/ha	Gardo Gold 4 l/ha	Kontrolle	Gardo Gold 2 l/ha	Gardo Gold 4 l/ha
Mais/DK 2960	113,9 <sup>a</sup>	143,8 <sup>a</sup>	206,8 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	26,8 <sup>a</sup>	10,2 <sup>a</sup> <sub>ab</sub>	1,0 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Mais/Magitop	127,0 <sup>a</sup>	122,7 <sup>a</sup>	233,7 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	30,6 <sup>a</sup>	20,4 <sup>a</sup>	0,8 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Mais/Subito	155,6 <sup>a</sup>	165,4 <sup>a</sup>	199,8 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	20,0 <sup>a</sup>	15,9 <sup>a</sup> <sub>ab</sub>	0,7 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Sorghum/Susu	66,3 <sup>a</sup>	66,8 <sup>a</sup>	139,1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	23,4 <sup>a</sup>	13,5 <sup>a</sup> <sub>ab</sub>	1,4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Sorghum/Sucrosergo	52,0 <sup>a</sup>	52,6 <sup>a</sup>	97,7 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	38,7 <sup>a</sup>	11,5 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
<b>2010</b>						
	Kontrolle	Gardo Gold 2 l/ha	Gardo Gold 4 l/ha	Kontrolle	Gardo Gold 2 l/ha	Gardo Gold 4 l/ha
Mais/DK 2960	156,6 <sup>ab</sup>	185,6 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	161,2 <sup>ab</sup> <sub>a</sub>	7,0 <sup>a</sup>	1,3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Mais/Magitop	171,8 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	186,9 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	206,9 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	6,4 <sup>a</sup>	0,8 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Mais/Subito	156,5 <sup>ab</sup> <sub>a</sub>	186,6 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	178,4 <sup>ab</sup> <sub>a</sub>	6,6 <sup>a</sup>	0,9 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Sorghum/Susu	122,0 <sup>a</sup>	137,9 <sup>a</sup>	135,9 <sup>a</sup>	4,7 <sup>ab</sup>	0,4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Sorghum/Sucrosergo	140,1 <sup>ab</sup>	136,9 <sup>a</sup>	153,4 <sup>a</sup>	2,4 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0,2 <sup>a</sup>	0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>

\*Nicht signifikant voneinander verschiedene Mittelwerte erhalten den gleichen Buchstaben für den Vergleich in den Spalten oben links und für den Vergleich der Zeilen unten rechts neben dem Mittelwert der Faktorstufen-Kombination.

Die Ertragsverluste durch Unkrautkonkurrenz zeigten sich zwischen den Herbizidvarianten (4 l/ha) und unbehandelten Kontrollen im Jahr 2008 sehr ausgeprägt, als zwischen 105,2 und 149,1 dt/ha Differenz auftraten. 2010 lagen die Ertragsverluste dagegen nur zwischen 4,6 und 35,1 dt/ha Trockenmasse. Bei den deutlichen Mehrerträgen in den 4 l/ha Gardo Gold Varianten in 2009 muss berücksichtigt werden, dass *Alopecurus myosuroides* per Hand aus den Ernteparzellen entfernt wurde.

In den Jahren mit starker Verunkrautung (2008 und 2009) und mit Unkrauttrockenmassen zwischen 20 und 41,7 dt/ha in den Kontrollen reichte die Biomasse der Unkrautpflanzen nicht aus, um den Ertragsverlust der Kulturpflanzen auszugleichen. Es zeigten sich deutliche Ertragsverluste hinsichtlich der Gesamtbiomasse gegenüber den behandelten Varianten. Im Jahr 2010 mit insgesamt geringerem Unkrautaufreten (2,4 bis 7 dt/ha Unkrauttrockenmasse) und konkurrenzkräftigen Kulturpflanzenbeständen waren durch eine Herbizidbehandlung nur geringe bzw. keine Mehrerträge zu erzielen.

#### 4. Diskussion

Zur Erzeugung von Biogas werden mittlerweile auch diverse Wildpflanzen als Alternative zum Mais

getestet (VOLLRATH und KUHN, 2010). Ob Unkraut in einem Mais- oder Sorghumbestand zur Biomasseproduktion beitragen bzw. die Gesamtbiomasseproduktion/ha erhöhen kann oder ob durch die Unkrautkonkurrenz nur Ertragsverluste hervorgerufen werden, wurde bisher seltener überprüft. Untersuchungen in der Steiermark (MAYER, 2006) zur Unkrautkonkurrenz von Sorghum zeigten bei der Sorte Goliath ohne Unkrautbekämpfung 35 % Ertragsausfall. Die Verunkrautung konnte die fehlende Biomasseproduktion der Kulturpflanzen nicht ausgleichen, da die Unkräuter und -gräser vorzeitig ihre Biomasseproduktion einstellen und in der Jugendphase wettbewerbsfähiger sind, so dass Nährstoffe und Wasser für die Kulturpflanze fehlen. Gleiches lässt sich zumindest für die Versuchsjahre 2008 und 2009 für den oben beschriebenen Versuch festhalten. In 2008 wurden bei Sorghum Biomasseverluste bis 84 % und bei Mais bis 64 % ermittelt. In 2009 waren die Verluste mit maximal 52 % bei Sorghum und 41 % bei Mais ebenfalls erheblich. Die Biomasse der Unkrautpflanzen war in keinem Fall in der Lage, den Trockenmasseverlust der Kulturpflanzen, der durch Unkrautkonkurrenz entstanden war, auszugleichen. In 2010 bei etwas niedrigeren Unkrautdeckungsgraden zur Ernte als in den beiden Vorjahren war in einigen Varianten auch ohne Herbizideinsatz ein adäquater Kulturpflanzenertrag wie in den behandelten Varianten zu erzielen, wobei die maximalen Ertragsverluste bei Sorghum 12 % und bei Mais 18 % betragen. In 2010 waren die Biomasseerträge der Unkräuter insgesamt deutlich niedriger als in den beiden Vorjahren. Mit der Anzahl Unkräuter/m<sup>2</sup> lässt sich dieses nicht erklären, da die Unkrautdicke 2010 sogar höher lag als 2009. Entscheidend dafür dürften das Unkrautartenspektrum (Leitunkräuter VIOAR und MERAN) und Witterungsparameter gewesen sein. So konnten vermutlich die höheren Niederschläge in der Wachstumsperiode 2010 die Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser zwischen Kulturpflanze und Unkraut deutlich verringern, so dass nur geringe Ertragsunterschiede zwischen den Herbizidvarianten auftraten. Zusammenfassend lässt sich aus den Ergebnissen der drei Versuchsjahre festhalten, dass Unkraut zwar zur Biomasseproduktion beitragen kann. In Jahren mit starker Unkrautkonkurrenz (2008 und 2009) aber kein Ausgleich der Biomasse durch die Unkräuter möglich war und in Jahren mit geringerem Unkrautdruck (2010) reichten die Kulturpflanzenerträge der unbehandelten Kontrollen auch ohne Unkrautbiomasse an die behandelten Varianten heran. Die Unkrautbekämpfung ist also auch bei der Erzeugung von Biomasse durch Mais oder Sorghum nicht zu vernachlässigen und ein Ausgleich der fehlenden Kulturpflanzenbiomasse durch Unkrautkonkurrenz kann durch die Unkrautbiomasse nicht erwartet werden. Dies gilt zumindest für die in den Versuchen aufgetretenen Unkrautarten. Nimmt man das Versuchsjahr 2009 aus, in dem die Varianten mit der halben zugelassenen Gardo Gold-Aufwandmenge aufgrund des hohen Acker-Fuchsschwanzbesatzes als Kontrollen gesehen werden müssen, ließen sich in 2008 und 2010 in dieser Variante ansatzweise die gleichen Erträge erzielen wie den 4 l/ha Gardo Gold Varianten, auch wenn der Unkrautdeckungsgrad gegenüber den Varianten mit voller Aufwandmenge etwas erhöht war. Eine Herbizidreduktion ist somit nicht zwangsläufig aber im Einzelfall sicherlich möglich, ohne Biomasseertrag einzubüßen. Aufgrund der erzielten Versuchsergebnisse gilt diese Aussage sowohl für den Mais, als auch für die Sorghum-Arten. Andere Autoren (GEHRING et al. 2006) und (SCHRÖDER et al., 2007) stellen fest, dass eine Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in Mais in Form einer pauschalen Aufwandmengenreduzierung ohne Kenntnis der konkreten Unkrautsituation und ohne Kenntnis der Wirkungsschwäche von Tankmischungen nicht sinnvoll sein kann. Diese Aussage kann nur zugestimmt werden.

Während von einigen Autoren beschrieben wurde, dass Sorghum-Arten dem Mais in klimatisch begünstigten Gebieten an Trockenmasseertrag überlegen sein können (z.B. PETERSEN et al., 2009), wurden an den Versuchsstandorten bei Braunschweig in allen drei Versuchsjahren höhere Maiserträge erzielt. In 2009 lagen die maximalen Ertragsdifferenzen in den behandelten Varianten zwischen Sorghum und Mais sogar bei fast 50 %. Da die chemische Unkrautbekämpfung in Sorghum aufgrund der wenigen zugelassenen Herbizide sehr schwierig ist, die Unkrautkonkurrenz zumindest in den Versuchsjahren gegenüber dem Mais eher schlechter war und zudem teilweise ein ungleichmäßiger Auflauf der sehr wärmeliebenden Sorghumsorten festzustellen war, stellten diese in den drei Versuchsjahren kaum eine Alternative zum Mais dar. Eventuell stellt sich Sorghum aufgrund der besseren Spätsaatverträglichkeit in einem Zweikultursystem aber besser dar.



## Danksagung

Dank gilt der gesamten Arbeitsgruppe der Herbologie des Instituts für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland sowie den Mitarbeitern des Versuchsfeldes des JKI ohne deren Mithilfe die aufwändigen Erntearbeiten nicht möglich gewesen wären.

## Literatur

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ UND BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2009: NATIONALER BIOMASSEAKTIONSPLAN FÜR DEUTSCHLAND.
- BUNDESORTENAMT, 2011: BESCHREIBENDE SORTENLISTE GETREIDE, MAIS, ÖLFRÜCHTE, LEGUMINÖSEN (GROßKÖRNIC), HACKFRÜCHTE ( AUßER KARTOFFELN). LANDBUCH VERLAGSGESELLSCHAFT MBH, HANNOVER.
- DEUTSCHES MAISKOMITEE, 2009:  
[HTTP://WWW.MAISKOMITEE.DE/WEB/UPLOAD/PDF/PRODUKTION/MAISANBAUFLAEICHE\\_D\\_08-09.PDF](http://www.maiskomitee.de/web/upload/pdf/produktion/MAISANBAUFLAEICHE_D_08-09.pdf). ABRUF AM 10.10.2011.
- GEHRING, K., S. THYSSSEN UND T. FESTNER, 2006: ANPASSUNG DER UNKRAUTFLORA AN EINE UNTERSCHIEDLICHE INTENSITÄT DER HERBIZIDBEHANDLUNG. GESUNDE PFLANZEN **58**, 52-56.
- MAYER K., 2006: ALTERNATIVE PFLANZEN ZU MAIS FÜR DIE BIOGASERZEUGUNG IN OBGRÜN, KALSDORF (FS HATZENDORF) UND HAFENDORF – 2-JÄHRIGE ERGEBNISSE. VERSUCHSREFERAT DER STEIRISCHEN LANDWIRTSCHAFTSSCHULEN. VERSUCHSBERICHT 2006, 22-26.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE UND K. HURLE, 2005: UNKRAUTFLORA IN MAIS. GESUNDE PFLANZEN **57**, 206-218.
- PETERSEN, J., S. SCHMITT UND O. LANG, 2009: HIRSE ODER MAIS? MAIS, SONDERDRUCK 1/2009, 1-4.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, H. BÄR, E. BERGMANN UND I. PITTORF, 2007: DER GEZIELTE EINSATZ VON REDUZIERTEN AUFWANDMENGEN HERBIZIDER TANKMISCHUNGEN IN MAIS – EIN BEITRAG ZUR UMSETZUNG DES INTEGRIERTEN PFLANZENSCHUTZES IN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN PRAXIS. GESUNDE PFLANZEN **59**, 127-139.
- VOLLRATH, B. UND W. KUHN, 2010: NEU: WILDPFLANZEN GEBEN BIOGAS. BIOGAS JOURNAL. SONDERHEFT ENERGIEPFLANZEN, 30-33.



## Einfluss von Fruchtfolge und Herbizidaufwandmenge auf die Verunkrautung

*Influence of crop rotation and herbicide dosage on the weed infestation*

Jürgen Schwarz<sup>1\*</sup>, Bernhard Pallutt<sup>2</sup> & Eckard Moll<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, D-14532 Kleinmachnow

<sup>2</sup>Klausener Str. 3, D-14532 Kleinmachnow

<sup>3</sup>Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Zentrale Datenverarbeitung, Stahnsdorfer Damm 81, D-14532 Kleinmachnow

\*Korrespondierender Autor, juergen.schwarz@jki.bund.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.041

### Zusammenfassung

Im Rahmen von Dauerfeldversuchen zum Pflanzenschutz wurden zwölf Jahre lang (1996 bis 2007) unterschiedliche Herbizidaufwandmengen, bis hin zu herbizidfreien Varianten, im Rahmen von zwei Fruchtfolgen (67 % und 50 % Getreideanteil) auf ihre Auswirkungen auf die Populationsdynamik von Unkräutern getestet. Im Herbst 2007 wurde auf Grundlage dieser zwei Fruchtfolgen der Dauerversuch neu ausgerichtet, indem eine neue Fruchtfolge etabliert und zwei Herbiziddosierungen entsprechend der guten fachlichen Praxis und des integrierten Pflanzenschutzes auf den jeweiligen Parzellenhälften ausgebracht wurden. Vor den Herbizidbehandlungen im Herbst oder Frühjahr wurden die aufgelaufenen Unkräuter nach Art und Anzahl erfasst. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Fruchtfolgen auf den Unkrautauflauf sind nach drei Jahren noch deutlich zu sehen. Der Auflauf der dikotylen Unkräuter in der ehemaligen Futterbaufuchtfolge ist weiterhin geringer als in der ehemaligen Marktfruchtfolge. Die früher mit Herbiziden behandelten Parzellen zeigen weiterhin einen geringeren Auflauf von dikotylen Unkräutern als die ehemals unbehandelten Varianten. Die zwei Herbizidintensitäten bilden sich ebenfalls noch im dikotylen Unkrautauflauf ab. Bei *Apera spica-venti* sind die Nachwirkungen der unterschiedlichen Herbizidstufen kaum erkennbar. Die Futterbaufuchtfolge zeigt jedoch auch hier einen geringeren Auflauf als die Marktfruchtfolge.

**Stichwörter:** *Apera spica-venti*, Dauerversuch, Dosis, Futterbau, Getreide, Marktfrucht, unbehandelte Kontrolle

### Summary

In long-term field trials focusing on plant protection, effects of different herbicide dosages on the population dynamics of weeds were tested for twelve years (1996 up to 2007) in two crop rotations (67 % and 50 % cereals in the rotation). Also low doses and no herbicide application were investigated. In autumn 2007, the long-term field trials were rearranged based on the experience of these two crop rotations. A new crop rotation and two herbicide treatments, good agricultural practice and integrated farming, were established on the plots. Prior to the herbicide treatment in either autumn or spring, weeds were counted by species and number. Effects on the weed occurrence in the different crop rotations can be observed even after three years. There are still less dicotyledonous weeds in the former fodder crop rotation than in the former cash crop rotation. The variants always treated with herbicides still have a lower dicotyledonous weed infestation compared to the formerly untreated ones. The two different pesticide intensities are also still visible in the dicotyledonous weed occurrence. The effects on monocotyledonous weeds (*Apera spica-venti*) are not clearly observable. Nevertheless, the fodder crop rotation has a lower occurrence of *Apera spica-venti* than the cash crop rotation.

**Keywords:** *Apera spica-venti*, cash crop, cereals, dosage, fodder, long-term field trial, untreated control

## 1. Einleitung

Die Verunkrautung auf Ackerflächen hängt vor allem von den Bodeneigenschaften (DUNKER und NORDMEYER, 1998), der Düngung (ZWERGER, 1990), der Bodenbearbeitung (PALLUTT und BENNEWITZ, 1996) und der Fruchtfolge (PALLUTT, 1999) ab. Die Intensität der Unkrautbekämpfung beeinflusst sowohl die aktuelle als auch die nachfolgende Verunkrautung. Dies gilt besonders für die chemische Unkrautbekämpfung (GEHRING et al., 2006; PALLUTT und MOLL, 2008; SCHWARZ und MOLL, 2010). Die längerfristigen Nachwirkungen unterschiedlicher Unkrautbekämpfungsstrategien, besonders halbiertes Aufwandmengen oder der gänzliche Verzicht auf Herbizide, auf die nachfolgende Verunkrautung sind nur mit Hilfe von Dauerfeldversuchen hinreichend sicher zu beurteilen (PALLUTT,

2010). Dabei ist von großem Interesse, wie lange und mit welcher Intensität sich Effekte der Fruchtfolge und der Herbizidintensität auf die nachfolgende Verunkrautung auswirken.

## 2. Material und Methoden

Die Versuche wurden auf dem Versuchsfeld des Julius Kühn-Institutes in Dahnsdorf durchgeführt. Das Versuchsfeld befindet sich im südlichen Brandenburg im Naturraum Fläming. Der Boden enthält 57,9 % Sand, 37,5 % Schluff, 4,6 % Ton und 1,4 % organische Substanz. Die Bodenzahl beträgt im Mittel 48 Punkte. Der pH-Wert liegt bei 5,8. Die Region ist häufig von Vorsommertrockenheit gekennzeichnet. Die mittlere Jahrestemperatur (1997 – 2010), gemessen durch eine eigene Wetterstation, betrug 9,4 °C und der mittlere Jahresniederschlag 599 mm.

Auf dem Versuchsfeld wurden im Zeitraum von 12 Jahren (1996 bis 2007) zwei Pflanzenschutzmittelintensitäten in zwei Fruchtfolgen untersucht. Die Marktfruchtfolge beinhaltete einen Getreideanteil von 67 %. Sie bestand aus den Fruchtfolgegliedern: Winterraps – Winterweizen1 – Winterroggen – Brache (1996 – 2001)/Erbsen (2002 – 2007) – Winterweizen2 und Wintergerste. Die Futterbaufruchtfolge enthielt einen Getreideanteil von 50 %. Sie bestand aus: Winterraps – Wintergerste – Luzerne/Klee/Gras – Winterroggen – Mais – Winterweizen.

Die Prüfung der Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung erfolgte in beiden Fruchtfolgen in den Stufen „situationsbezogen“ und „50 % von situationsbezogen“. Innerhalb der beiden Intensitätsstufen wurden die Versuchsglieder „unbehandelte Kontrolle (UK)“, „Fungizid (F)“, „Herbizid (H)“ und „Herbizid und Fungizid (HF)“ untersucht. Die Größe jeder Versuchspartelle betrug 80 m<sup>2</sup> (5 m x 16 m). Zu weiteren Versuchsdetails siehe PALLUTT (2002b) und PALLUTT et al. (2010).

Im Herbst 2007 wurde der Dauerfeldversuch neu ausgerichtet. Die neue, energiepflanzenbetonte Fruchtfolge besteht aus: Winterraps – Winterweizen – Winterroggen – Grünschnittroggen/Sorghum-Hirse – Erbsen – Triticale. Die Grundbodenbearbeitung wird wendend (Pflug) und nicht wendend durchgeführt. Die Prüfung der Intensität des chemischen Pflanzenschutzes erfolgte in den Strategien „gute fachliche Praxis (GFP)“ und „Integrierter Pflanzenschutz (IPS)“. Hierbei ersetzt die Stufe „gute fachliche Praxis“ die ehemals „situationsbezogene“ Dosierung und die Stufe „Integrierter Pflanzenschutz“ die ehemalige Stufe „50 % von situationsbezogen“. Darüber hinaus wurden die bisher nicht mit Herbiziden behandelten Parzellen (UK und F) seit Herbst 2007 bzw. Frühjahr 2008 entsprechend den jeweiligen Intensitätsstufen mit Herbiziden behandelt. Die Unterschiede der Herbiziddosierungen zwischen den Varianten GFP und IPS sind, gemessen als Behandlungsindex der Herbizide im Mittel von Getreide und Raps, mit 1,3 und 1,0 geringer als im Zeitraum 1996 bis 2007.

Somit konnten die Nachwirkungen der zwölfjährigen differenzierten Herbizidaufwandmengen auf die Folgeverunkrautung der Jahre 2009, 2010 und 2011 ermittelt werden. Der Auflauf der Unkräuter vor der Herbizidbehandlung wurde an vier Zählstellen mit einer Größe von 0,25 m<sup>2</sup> in jeder einzelnen Versuchspartelle nach Art und Anzahl im Herbst oder Frühjahr erfasst.

Für die Auswertung wurde der Unkrautaufwurf in den Kulturarten Triticale, Winterweizen und Winterroggen herangezogen. Die ehemals nicht mit Herbiziden behandelten Varianten „UK“ und „F“ und die ehemals mit Herbiziden behandelten Varianten „H“ und „HF“ wurden, getrennt für die Stufen „situationsbezogen“ und „50 % von situationsbezogen“, zusammengefasst (siehe auch PALLUTT und MOLL, 2008; SCHWARZ und MOLL, 2010). Durch die Mittelwertbildung über die oben genannten Getreidearten wird die Anzahl der auswertbaren Versuchspartellen erhöht und somit die Aussagesicherheit, besonders vor dem Hintergrund der heterogenen Unkrautverteilung auf Ackerflächen (MORTENSEN et al., 1993; NORDBO und CHRISTENSEN, 1995), verbessert. Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikpaket SAS 9.2. Die grafische Darstellung der Daten erfolgt als Box-Whiskers-Plots.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Entwicklung der Verunkrautung bis zur Neuausrichtung

Auf dem 38 ha großen Versuchsfeld wurden vor Versuchsbeginn 31 Unkrautarten beschrieben (JÜTTERSONKE, 1995). Zu Beginn der Versuchstätigkeit fanden sich in den beiden Dauerversuchen 20 Arten (PALLUTT, 2002a). Die Hauptunkrautarten waren *Viola arvensis*, *Veronica* spp., *Stellaria media*, *Matricaria* spp., *Lamium* spp. und *Apera spica-venti*.

In der ersten Rotation (1996 bis 2001) waren in beiden Fruchtfolgen Marktfrucht und Futterbau noch erhebliche Schwankungen der Verunkrautung zwischen den Herbizidvarianten zu beobachten (SCHWARZ und MOLL, 2010). In der zweiten Rotation (2002 bis 2007) wurden die Unterschiede zwischen den Herbizidintensitäten zunehmend deutlicher. Die getreidebetonte Fruchtfolge war stärker verunkrautet als die futterbetonte. Die dikotylen Unkräuter bestanden in beiden Fruchtfolgen zu ca. 80 % aus den fünf Arten *Viola arvensis*, *Veronica* spp., *Stellaria media*, *Matricaria* spp. und *Centaurea cyanus*. *Centaurea cyanus* trat erst im Verlauf der zweiten Rotation verstärkt auf, entwickelte sich dann jedoch zu einer zahlenmäßig bedeutsamen Unkrautart. Bei den monokotylen Unkräutern war nur *Apera spica-venti* von Relevanz.

Die Tabelle 1 zeigt die durchschnittliche Verunkrautung, gemittelt über die drei Getreidearten (Winterweizen, Triticale und Winterroggen), am Ende der zwölf Jahre (Erntejahr 2008).

**Tab. 1** Verunkrautung (Pflanzen/m<sup>2</sup>) nach zwei Fruchtfolgerotationen (12 Jahre) in Abhängigkeit von ehemaliger Fruchtfolge und Herbizidintensität (Mittel aus Winterweizen, Triticale und Winterroggen).

**Tab. 1** Number of weeds per m<sup>2</sup> after two crop rotation cycles (12 years) depending on former crop rotation and herbicide intensity (mean of winter wheat, triticale and winter rye).

Unkräuter	Marktfrucht				Futterbau			
	sit.		50 %		sit.		50 %	
	UK+F	H+HF	UK+F	H+HF	UK+F	H+HF	UK+F	H+HF
Dikotyle Unkräuter	231	81	215	126	161	63	142	113
<i>Viola arvensis</i>	25	16	33	31	29	16	26	23
<i>Matricaria</i> spp.	71	17	42	30	35	11	36	25
<i>Centaurea cyanus</i>	14	1	21	5	0	0	1	1
<i>Apera spica-venti</i>	83	74	77	69	45	29	34	32

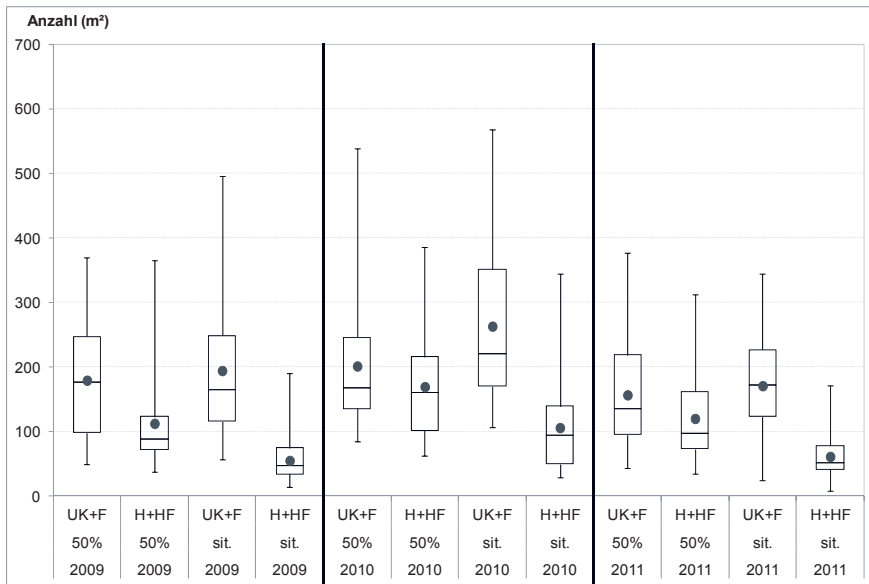
Die Verunkrautung wies deutliche Einflüsse der Fruchtfolge und der ehemaligen Herbizidintensitäten auf. In der Futterbaufruchtfolge war die Verunkrautung mit dikotylen Unkräutern und *Apera spica-venti* im Vergleich zur Marktfruchtfolge deutlich geringer. Die herbizidfreien Versuchsglieder (UK + F) waren erwartungsgemäß deutlich stärker verunkrautet als die mit Herbiziden behandelten (H + HF). Die halbierten Aufwandmengen führten ebenfalls, im Vergleich zur situationsbezogenen Herbiziddosierung, zu erhöhter Nachverunkrautung bei den dikotylen Unkräutern.

#### 3.2 Entwicklung der Verunkrautung seit der Neuausrichtung

Die Nachwirkung der differenzierten Herbizidbehandlungen auf die Verunkrautung mit dikotylen Unkräutern und *Apera spica-venti* zeigen die Box-Whiskers-Plots der folgenden Abbildungen. Es wird in allen Abbildungen zwischen den beiden Intensitätsstufen „situationsbezogen (sit.)“ und „50 % von situationsbezogen (50 %)“ und den Varianten, die früher nicht mit Herbizid behandelt wurden (UK + F) und den immer mit Herbizid behandelten Varianten (H + HF) unterschieden. Die Tabelle 2 stellt die durchschnittliche Verunkrautung, gemittelt über die drei Getreidearten (Winterweizen, Triticale und Winterroggen), im Erntejahr 2011 dar.

Der Unkrautauflauf der dikotylen Unkräuter unterschied sich zwischen den Varianten auch noch im dritten Jahr (2011) nach der Versuchsumstellung. Allerdings wurden die Unterschiede zwischen den Varianten geringer. Die ehemals mit Herbizid behandelten Varianten (H + HF) zeigten weiterhin einen

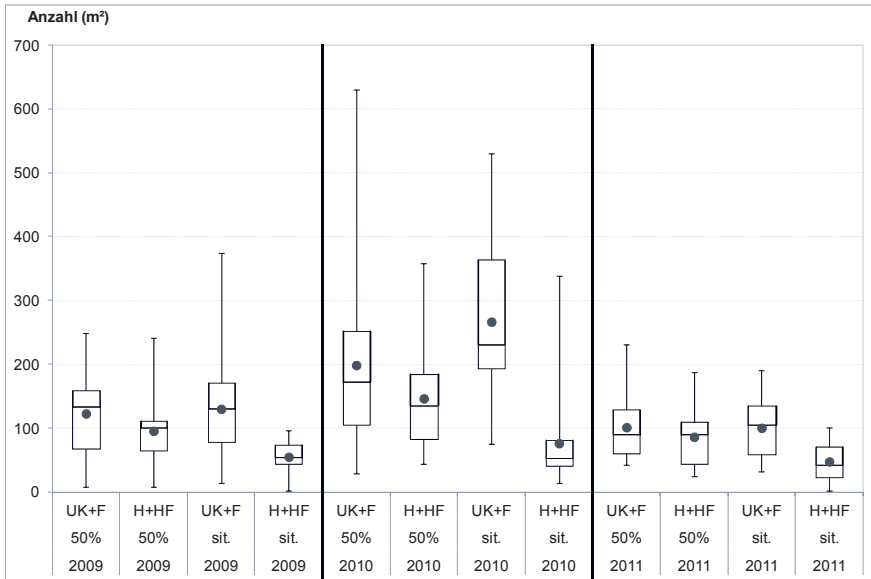
geringeren Unkrautauflauf als die ehemals unbehandelten Kontrollen (UK + F). Die ehemalige Herbizidintensität „50 % von situationsbezogen“ schlug sich ebenfalls noch im Unkrautauflauf nieder. In der Marktfruchtfolge (Abb. 1) blieb das Verhältnis des Auflaufs dikotyler Unkräuter zwischen den ehemals behandelten und unbehandelten Varianten in der „situationsbezogen“ Intensität bestehen. Es liefen weiterhin etwa dreimal mehr dikotyle Unkräuter in den ehemals unbehandelten Varianten im Vergleich zu den ehemals behandelten Varianten auf. In der Intensität „50 % von situationsbezogen“ dagegen nahm der Unterschied des Auflaufs dikotyler Unkräuter zwischen den unbehandelten und behandelten Varianten ab. Dies wurde auch beim Auflauf von *Centaurea cyanus* deutlich. Im Jahr 2008 liefen in der unbehandelten Variante der Intensität „50 % von situationsbezogen“ noch viermal mehr Pflanzen auf. Im Jahr 2011 war die Anzahl der aufgelaufenen Pflanzen dagegen gleich hoch.



**Abb. 1** Auflauf dikotyler Unkräuter (Anzahl je m<sup>2</sup>) in der ehemaligen Marktfruchtfolge (Mittel in Getreide).

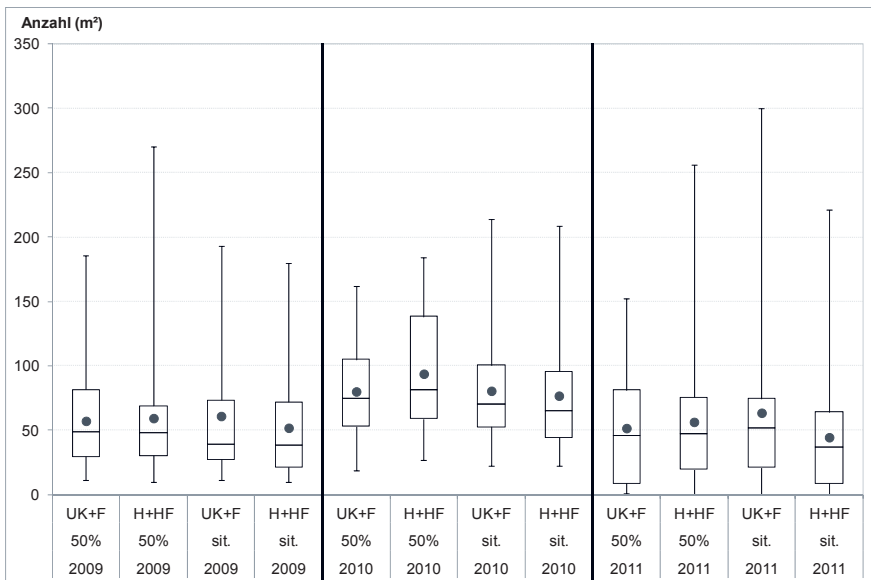
**Fig. 1** Emergence of dicotyledonous weeds (number/m<sup>2</sup>) in the former cash crop rotation (mean of cereals).

Die Entwicklung des Auflaufs dikotyler Unkräuter war in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge ähnlich der in der Marktfruchtfolge (Abb. 2). Allerdings war die ehemalige Futterbaufruchtfolge generell durch einen schwächeren Auflauf dikotyler Unkräuter geprägt. Die Tendenz zu einem geringeren Unkrautauflauf in den ehemals unbehandelten Varianten war hier ebenfalls gegeben. *Centaurea cyanus* war bis zum Jahr 2011 in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge kein bedeutsames Unkraut. Bei *Apera spica-venti* (Abb. 3) war die Nachwirkung der unterschiedlichen Herbizidstufen in der Marktfruchtfolge gering. In der ehemaligen Futterbaufruchtfolge (Abb. 4) war bei *Apera spica-venti* ebenfalls ein geringerer Auflauf als in der Marktfruchtfolge zu beobachten. Die Nachwirkungen der unterschiedlichen Herbizidintensitäten waren, wie in der ehemaligen Marktfruchtfolge, ebenfalls kaum zu beobachten. Die Streuung der aufgelaufenen Pflanzen war in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge geringer als in der Marktfruchtfolge.



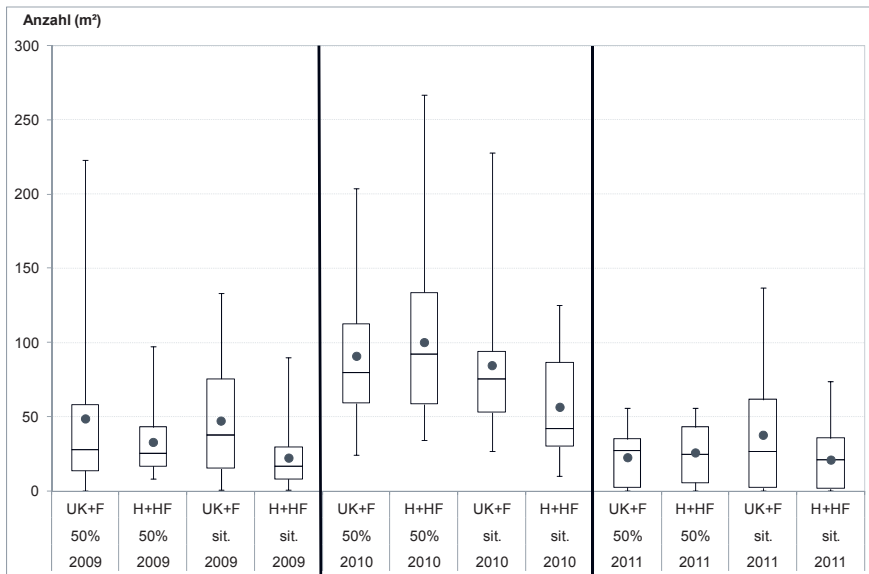
**Abb. 2** Auflauf dikotyleter Unkräuter (Anzahl je m<sup>2</sup>) in der ehemaligen Futterbaufuchtfolge (Mittel in Getreide).

**Fig. 2** Emergence of dicotyledonous weeds (number/m<sup>2</sup>) in the former fodder crop rotation (mean of cereals).



**Abb. 3** Auflauf von *Apera spica-venti* (Anzahl je m<sup>2</sup>) in der ehemaligen Marktfruchtfolge (Mittel in Getreide).

**Fig. 3** Emergence of *Apera spica-venti* (number/m<sup>2</sup>) in the former cash crop rotation (mean of cereals).



**Abb. 4** Auflauf von *Apera spica-venti* (Anzahl/m<sup>2</sup>) in der ehemaligen Futterbauf Fruchtfolge (Mittel in Getreide).

**Fig. 4** Emergence of *Apera spica-venti* (number/m<sup>2</sup>) in the former fodder crop rotation (mean of cereals).

**Tab. 2** Verunkrautung (Pflanzen/m<sup>2</sup>) im Erntejahr 2011 in Abhängigkeit von ehemaliger Fruchtfolge und Herbizidintensität (Mittel aus Winterweizen, Triticale und Winterroggen).

**Tab. 2** Number of weeds per m<sup>2</sup> in the harvest year 2011 depending on the former crop rotation and herbicide intensity (mean of winter wheat, triticale and winter rye).

Unkräuter	Marktfrucht				Futterbau			
	sit.		50 %		sit.		50 %	
	UK+F	H+HF	UK+F	H+HF	UK+F	H+HF	UK+F	H+HF
Dikotyle Unkräuter	171	61	156	120	100	47	101	86
<i>Viola arvensis</i>	16	10	16	18	24	16	17	16
<i>Matricaria</i> spp.	46	14	27	20	21	6	15	10
<i>Centaurea cyanus</i>	13	4	24	26	1	0	1	3
<i>Apera spica-venti</i>	63	44	52	56	38	21	23	26

#### 4. Diskussion

Ein geringer Getreideanteil in der Fruchtfolge führte in allen Intensitätsstufen der Herbizidanwendung zu einer geringeren Verunkrautung. Dies bestätigt auch der Dauerfeldversuch in Glaubitz (PALLUTT, 2010). Ein erhöhter Wintergetreideanteil erhöhte das Auftreten von *Centaurea cyanus*, da *C. cyanus* im Wintergetreide bessere Wachstumsbedingungen vorfindet. Die Auswirkung situationsbezogener Herbizidanwendung auf den Auflauf dikotyler Unkräuter ist in beiden Fruchtfolgen erwartungsgemäß größer als die der halbierten Herbiziddosis. Als Ursache ist vor allem die erhöhte Samenbildung infolge der stärkeren Restverunkrautung zu nennen. Dadurch nimmt die Unkrautsamenbank im Boden zu. Die nicht mit Herbizid behandelten Varianten sind demzufolge am stärksten verunkrautet. Der Einfluss der Fruchtfolge wird besonders bei den nicht mit Herbizid behandelten Varianten deutlich. So ist die Futterbauf Fruchtfolge geringer verunkrautet als die Marktfruchtfolge, weil die Fruchtfolgeglieder Mais und Luzerne-Klee gras eine geringere Verunkrautung zur Folge haben.



Bei *Apera spica-venti* sind die Unterschiede zwischen den Herbizidvarianten nach zwölf Jahren kaum vorhanden. Im Vergleich zu den Ausgangserhebungen (1995) hat *A. spica-venti* in beiden Fruchtfolgen zugenommen. Als Ursache ist neben einem erhöhten Wintergetreideanteil vor allem der nicht ausreichende Wirkungsgrad zur Verhinderung der Samenbildung von *A. spica-venti* zu nennen. Der Wirkungsgrad von rund 94 % (PALLUTT und MOLL, 2008) bei situationsbezogener Herbiziddosierung reicht zur Ausschaltung der Konkurrenz aus, genügt aber nicht, um die Samenbildung von *A. spica-venti* dauerhaft ausreichend zu unterbinden. Ferner sind auch die Parzellengröße (80 m<sup>2</sup>), infolge der Verbreitung der Samen durch Wind, und die Verteilung durch den Mähdrusch bedeutende Störgrößen. Somit können von den unbehandelten Parzellen *A. spica-venti*-Samen auf die behandelten Parzellen eingetragen werden.

Seit der Neuausrichtung des Dauerfeldversuchs und der damit veränderten Herbizidstrategien werden die Veränderungen des Unkrautaufbaus weiter beobachtet. Selbst nach drei Jahren haben die Unterschiede im Unkrautaufbau zwischen den Herbizidvarianten nur wenig abgenommen. Dagegen verringerten sich die Differenzen zwischen halbierten Herbiziddosierungen und den unbehandelten Kontrollen im Zeitraum 2008 bis 2011 in der Marktfruchtfolge erheblich. In der ehemaligen Futterbaufruchtfolge ist der Unkrautaufbau weiterhin geringer. Beide Effekte sind mit dem als unterschiedlich anzunehmenden Unkrautsamenpotenzial, das sich über die zwölf Jahre gebildet hat, zu erklären.

Der Zeitraum zum Abbau der Unterschiede im Unkrautaufbau zwischen den einzelnen Herbizidvarianten hängt somit von der Intensität der Unkrautbekämpfung ab. Daraus folgt, dass für eine sichere Beurteilung der Nachwirkung von Herbizidstrategien auf die Verunkrautung Dauerfeldversuche unverzichtbar sind.

Der weitere Verlauf der Dauerfeldversuche wird zeigen, wann sich diese Unterschiede im Unkrautaufbau abgebaut haben, da jährlich nur etwa 2 bis 5 % der im Boden vorhandenen Unkrautsamen auflaufen (ZWERGER und HURLE, 1990).

## Literatur

- DUNKER, M. UND H. NORDMEYER, 1998: BODENEIGENSCHAFTEN ALS URSACHE DER UNKRAUTVERTEILUNG AUF ACKERFLÄCHEN. 51. DEUTSCHE PFLANZENSCHUTZTAGUNG. MITTEILUNGEN DER BBA **357**, 233.
- GEHRING, K., S. THYSSEN UND T. FESTNER, 2006: ANPASSUNG DER UNKRAUTFLORA AN EINE UNTERSCHIEDLICHE INTENSITÄT DER HERBIZIDBEHANDLUNG. GESUNDE PFLANZEN **58**, 52-56.
- JÜTTERSONKE, B.: UNVERÖFFENTLICHTE DATEN, 1995.
- MORTENSEN, D.A., G.A. JOHNSON UND L.J. YOUNG, 1993: WEED DISTRIBUTION IN AGRICULTURAL FIELDS. IN: ROBET, P. UND R.H. RUST (HRSG.): SOIL SPECIFIC CROP MANAGEMENT, AGRONOMY SOCIETY OF AMERICA, 113-124.
- NORDBO, E. UND S. CHRISTENSEN, 1995: SPATIAL VARIABILITY OF WEEDS. PROCEEDINGS OF THE SEMINAR ON SITE SPECIFIC FARMING, DANISH INSTITUTE OF PLANT AND SOIL SCIENCE. SP-REPORT NO. **26**, 67-90.
- PALLUTT, B. UND A. BENNEWITZ, 1996: EINFLUSS VON PFLUGLOSER BODENBEARBEITUNG AUF DIE VERUNKRAUTUNG UND DEN ERTRAG VON WINTERGETREIDE. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XV**, 325-332.
- PALLUTT, B., 1999: EINFLUSS VON FRUCHTFOLOGE, BODENBEARBEITUNG UND HERBIZIDANWENDUNG AUF POPULATIONSDYNAMIK UND KONKURRENZ VON UNKRÄUTERN IN WINTERGETREIDE. GESUNDE PFLANZEN **51**, 109-120.
- PALLUTT, B., 2002A: INTEGRIERTE UNKRAUTBEKÄMPFUNG. IN: ZWERGER, P. UND H.-U. AMMON (HRSG.): UNKRAUT – ÖKOLOGIE UND BEKÄMPFUNG, 224-230. ULMER VERLAG, STUTTGART.
- PALLUTT, B., 2002B: LANGZEITWIRKUNGEN REDUZIERTER HERBIZIDANWENDUNGEN UND STICKSTOFFDÜNGUNG AUF POPULATIONSDYNAMIK UND KONKURRENZ VON UNKRÄUTERN IN GETREIDE. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 293-304.
- PALLUTT, B. UND E. MOLL, 2008: LANGZEITWIRKUNG REDUZIERTER HERBIZIDAUFWANDMENGEN AUF VERUNKRAUTUNG UND KORNERTRAG VON WINTERGETREIDE IN EINEM 12JÄHRIGEN DAUERVERSUCH. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PLANT PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 501-508.
- PALLUTT, B., 2010: 30 JAHRE DAUERFELDVERSUCHE ZUM PFLANZENSCHUTZ. JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN **62**, 230-237.
- PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER UND E. MOLL, 2010: DAUERFELDVERSUCHE AUF DEM VERSUCHSFELD DAHNSDORF UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER UNKRAUTBEKÄMPFUNG. JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN **62**, 238-247.
- SCHWARZ, J. UND E. MOLL, 2010: ENTWICKLUNG DER VERUNKRAUTUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON FRUCHTFOLOGE UND HERBIZIDINTENSITÄT. JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN **62**, 317-325.

- WITTMANN, C., K. PALLAS UND E. HINTZSCHE, 1996: WIRKUNG NIEDRIG DOSIERTER HERBIZIDE AUF DIE STRUKTUR DER VERBLEIBENDEN UNKRAUTGEMEINSCHAFT. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRAUKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XV**, 367-376.
- ZWERGER, P., 1990: MODELLUNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUß DER STICKSTOFFDÜNGUNG AUF DIE SAMENPRODUKTION UND DIE SCHADWIRKUNG VON *FALLOPIA CONVOLVULUS* (L.) A. LÖVE UND DREI *POLYGONUM*-ARTEN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRAUKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XII**, 107-113.
- ZWERGER, P. UND K. HURLE, 1990: UNTERSUCHUNG ZUR ABBILDUNGSGÜTE SIMULIRTER BEFALLSVERLÄUFE BEI UNKRÄUTERN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRAUKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XII**, 133-141.

## **Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau: Aspekte der Unkrautregulierung**

*Guidelines for integrated pest management in sugar beet cultivation: aspects of weed control*

Annett Gummert\*, Erwin Ladewig & Bernward Märländer

Institut für Zuckerrübenforschung an der Universität Göttingen, Holtenser Landstraße 77, D-37079 Göttingen

\*Korrespondierender Autor, gummert@ifz-goettingen.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.042

### **Zusammenfassung**

Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes sollen laut EU-Richtlinie zur nachhaltigen Verwendung von Pestiziden kulturpflanzen- oder sektorspezifisch entwickelt werden. Ihre Anwendung kann dazu beitragen, die mit der Verwendung von Pestiziden verbundenen Risiken und Auswirkungen für die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu verringern. Innerhalb eines Forschungsprojektes wurde eine Leitlinie für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau entwickelt. An der Erarbeitung und Diskussion der fachlichen Grundlagen der Leitlinie war ein projektbegleitender Arbeitskreis beteiligt, der sämtliche Stakeholder der 'Rohstoffproduktion Zuckerrübe' repräsentierte.

Aufgrund der geringen Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern im Jugendstadium hat die Unkrautregulierung in Zuckerrüben eine hohe wirtschaftliche Bedeutung. Im Mittelpunkt des unkrautspezifischen Auszugs der Leitlinie steht die Anwendung von Herbiziden, die zur Zeit die effizienteste Methode der Unkrautregulierung im Zuckerrübenanbau darstellt.

**Stichwörter:** EU-Richtlinie 2009/128/EG, nachhaltiger Einsatz von Herbiziden, notwendiges Maß

### **Summary**

The EU-Directive for the sustainable use of pesticides encourages member states to develop crop- or sector-specific guidelines for integrated pest management. The implementation of such guidelines helps reducing the risks and impacts of pesticide use on human health and the environment. A guideline for integrated pest management in sugar beet cultivation has been jointly developed in a funded research project. The professional preparation and discussion of the guideline was accompanied by a project-linked working group which represented scientists, sugar beet advisory experts and interest groups of the entire value chain of sugar beets.

Weed control in sugar beet cultivation is essential and of high economical importance as sugar beets are weak competitors. The presented weed specific extract from the guideline focuses on the use of herbicides which is to date the most efficient measure for weed control in sugar beets.

**Keywords:** EU-Directive 2009/128/EC, necessary minimum, sustainable use of herbicides

### **1. Hintergrund und methodischer Ansatz**

Die EU-Richtlinie für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden (2009/128/EG) hat zum Ziel, die mit der Verwendung von Pestiziden verbundenen Risiken und Auswirkungen für die Schutzgüter Mensch, Tier und Umwelt zu verringern. Ein Instrument zur Erreichung dieses Ziels stellt die Anwendung der in der Rahmenrichtlinie beschriebenen, allgemeinen Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes (IPS) dar. Darüber hinaus sollen kulturpflanzen- oder sektorspezifische Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz entwickelt und von den Anwendern von Pflanzenschutzmitteln auf freiwilliger Basis angewandt werden.

Vor dem Hintergrund der EU-Gesetzgebung wurden am Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ) im Rahmen eines Forschungsprojektes Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau entwickelt. Für die Erarbeitung und Diskussion der fachlichen Grundlagen der Leitlinien wurde ein projektbegleitender Arbeitskreis gegründet, der sämtliche an der 'Rohstoffproduktion Zuckerrübe' beteiligten Stakeholder repräsentierte (Zuckerrübenanbauer/Rübenanbauverbände, Zuckerindustrie, Officialberatung, Züchtungsunternehmen, Pflanzenschutzmittelunternehmen, Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), internetgestützte Beratungssysteme (BISZ, ISIP, LIZ)).

Ausgangspunkt der Formulierung der Leitlinien war eine ausführliche Literaturrecherche zur integrierten Bekämpfung der wichtigsten Schaderreger der Zuckerrübe, die neben wissenschaftlicher Literatur und Fachzeitschriften auch die Aussagen aller relevanten Beratungsträger umfasste. Im nächsten Schritt wurden für diejenigen Schaderreger, die überregional von Bedeutung sind und für welche integrierte Bekämpfungsverfahren zur Verfügung stehen, handlungsorientierte Aussagen zum IPS formuliert. Die Aussagen wurden dann im Arbeitskreis diskutiert, vom IfZ zusammengefasst und nochmals abschließend zur Diskussion gestellt.

Inhalt und Struktur der Leitlinien orientieren sich an den allgemeinen Grundsätzen des IPS der Europäischen Union, die folgende Aspekte beschreiben: Vorbeugende Maßnahmen, Überwachungsmethoden, Schwellenwerte, direkte nichtchemische und chemische Bekämpfungsmaßnahmen, Begrenzung auf das notwendige Maß, Resistenzvermeidungsstrategien sowie Erfolgskontrolle und Dokumentation. Untergliedert sind die Leitlinien in eine allgemeine Leitlinie, die übergeordnet für alle Belange des Pflanzenschutzes in Zuckerrüben gilt, und schaderregerspezifische Leitlinien, die detaillierte Handlungsanweisungen für die wichtigsten Schaderreger der Zuckerrübe beinhalten. Folgende Schaderreger bzw. Schaderregergruppen der Zuckerrübe wurden in den schaderregerspezifischen Leitlinien berücksichtigt:

- Auflaufkrankheiten (Wurzelbrand)
- bodenbürtige Krankheiten (Rizomania, Rhizoctonia)
- Blattkrankheiten (Cercospora, Ramularia, Mehltau, Rost)
- tierische Schaderreger (Nematoden, Insekten, Mäuse, Schnecken)
- Unkräuter (ein- und zweikeimblättrige Unkräuter, Schosser, Kulturpflanzen als Durchwuchs)

Sowohl in der allgemeinen als auch in den schaderregerspezifischen Leitlinien wurden die Leitgedanken der IPS-Grundsätze auf den Pflanzenschutz in Zuckerrüben übertragen und entsprechend der derzeit verfügbaren, praktikablen Methoden und Verfahren Handlungsanweisungen im Sinne des IPS beschrieben. Bei der Formulierung wurde insbesondere Wert darauf gelegt, Handlungsoptionen und Freiräume für jahres-, standort- und betriebsspezifische Entscheidungen zu ermöglichen. Gleichwohl wurden die Handlungsanweisungen so stringent wie möglich formuliert. Die Leitlinien haben somit einen höheren Anspruch an die Umsetzung des IPS als es die allgemeinen Grundsätze vorsehen. In den schaderregerspezifischen Leitlinien sind den einzelnen Handlungsanweisungen zudem ergänzende Hinweise und Erläuterungen gegenübergestellt, um eine hohe Akzeptanz beim Landwirt zu erreichen.

## 2. Ergebnisse

Die folgende Tabelle gibt den unkrautspezifischen Abschnitt der Leitlinie für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau (GUMMERT et al., 2011) wieder. Unter dem Begriff Unkräuter sind alle ein- und zweikeimblättrigen Unkräuter sowie Schosser und weitere Kulturpflanzen als Durchwuchs zusammengefasst.

**Tab. 1** Leitlinie für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau: Unkräuter.

**Tab. 1** *Sugar beet specific guideline for integrated pest management: weeds.*

Vorbeugende Maßnahmen	Erläuterung/Begründung
Die konsequente Bekämpfung von Problemunkräutern der Zuckerrübe ist in der gesamten Fruchtfolge durchzuführen.	Nicht alle Unkrautarten sind in Zuckerrüben mit den üblicherweise ausgebrachten Herbiziden ausreichend zu bekämpfen. Die Bekämpfung solcher, sogenannter Problemunkräuter führt zu erhöhten Aufwendungen an Herbiziden und ist zum Teil nur durch aufwändige manuelle Bereinigung möglich. Insbesondere in der Vorfrucht Getreide lassen sich verschiedene Problemunkräuter der Zuckerrübe leichter wirkungsvoll regulieren. Der Wechsel von Winterkulturen (z. B. Getreide) zur Sommerkultur Zuckerrübe bietet gute Bekämpfungsmöglichkeiten von herbstkeimenden Ungräsern.

Je nach angewandtem Bodenbearbeitungssystem kann eine Unkrautbekämpfung bereits nach der Ernte der Vorfrucht durch die Stoppel- bzw. Grundbodenbearbeitung und weiter-hin im Zuge der Saatbettbereitung zur Aussaat der Zuckerrüben erfolgen.

Die Etablierung eines homogenen Zuckerrübenbestandes ohne Lücken und mit hoher Bestandesdichte sollte angestrebt werden.

In Regionen mit höherem Risiko von Temperaturen zwischen 2 und 10 °C über einen längeren Zeitraum nach der Aussaat sollten Sorten mit geringerer Schossneigung bevorzugt werden.

Durch eine (mehrfache, zeitlich gestaffelte) Bodenbearbeitung nach der Ernte der Vorfrucht werden Unkrautsamen sowie beispielsweise Ausfallgetreide in den Boden eingearbeitet und zum Keimen angeregt. Eine sorgfältige Saatbettbereitung, die zu gleichmäßigen, optimalen Auflaufbedingungen der Zuckerrüben führt, dient auch dem einheitlichen Auflaufen der Unkräuter und ermöglicht somit eine wirksame, herbizidsparende Unkrautbekämpfung.

Durch einen gleichmäßigen und hohen Feldaufgang in Verbindung mit Bestandesdichten von mindestens 80.000 Pflanzen/ha kann der Bestandesschluss frühzeitiger erreicht, die Konkurrenzkraft der Rüben erhöht und das Unkraut somit besser unterdrückt werden als bei niedrigeren Bestandesdichten. Die Erfahrungen der Praxis zu Blattstellung und Beschattung von Sorten sollten genutzt werden. Lücken im Bestand sowie ein später und uneinheitlicher Bestandesschluss erhöhen das Risiko der Spätverunkrautung. Dies kann den benötigten Herbizidaufwand deutlich steigern. Eine fehlende Bereinigung der Spätverunkrautung kann zu Ertragsverlusten und erheblichen Ernteerschwernissen führen.

Die Zuckerrübe bildet als zweijährige Pflanze im ersten Jahr den Rübenkörper und erst nach einem Kältereiz (Vernalisation) im zweiten Jahr den Samenträger (Schosser). Durch langanhaltende, ungünstige Kälteperioden nach der Aussaat kann auch schon im ersten Jahr eine Schossauslösung erfolgen. Der Anbau von Zuckerrübensorten mit geringer Schossneigung kann den späteren Aufwand zur Beseitigung der Schosser durch nichtchemische oder chemische Verfahren verringern. Allerdings muss je nach erwartetem Auftreten anderer Schaderreger eine Abwägung der Sorteneigenschaften zueinander erfolgen, so dass dem Merkmal Schossneigung unter Umständen eine geringere Priorität zugemessen werden kann.

---

### Überwachungsmethoden

Das Auftreten von Unkräutern und die Zusammensetzung der Unkrautgesellschaft sind mit Feldbeobachtungen (Bestimmen der Unkräuter) zu überwachen.

Eine frühzeitige Erkennung des Unkrautspektrums ist eine wesentliche Voraussetzung, um die Mittelauswahl und Aufwandmengen optimal anpassen zu können und die Unkrautbekämpfung kostengünstig und umweltschonend durchzuführen.

Programme im Internet (BISZ: <http://bisz.suedzucker.de>, LIZ: <http://www.liz-online.de>) ermöglichen eine einfache und schnelle Bestimmung aller relevanten Unkrautarten.

---

### Schwellenwerte

Bekämpfungsschwellen sind derzeit nicht relevant. Obwohl für einige Unkräuter Schadensschwellen ermittelt sind, ist deren Anwendung wegen des Fehlens wirksamer Herbizide bei fortgeschrittenen Entwicklungsstadien von wichtigen zweikeimblättrigen Unkräutern meist nicht möglich. Die Anwendung von Bekämpfungsschwellen gestaltet sich zudem schwierig, da die Unkrautbekämpfung am effektivsten (geringster Aufwand an Pflanzenschutzmitteln) im Keimblattstadium der Unkräuter erfolgt.

---

### direkte Bekämpfungsmaßnahmen

Für die Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben stehen sowohl chemische als

Die Unkrautregulierung ist die wichtigste ertragssichernde Maßnahme im Zuckerrübenanbau. Ohne Unkrautregulierung

auch nichtchemische Verfahren zur Verfügung. Eine möglichst frühzeitige und vollständige Bekämpfung der Unkräuter ist anzustreben. Dies ist auch aus phytosanitärer Sicht erforderlich, da viele Unkrautarten (Zwischen-) Wirte für Krankheiten und Schädlinge der Zuckerrübe sind.

Die chemische Bekämpfung erfolgt mit einer wiederholten Applikation von Herbizidmischungen, die auf die standortspezifische Unkrautgesellschaft abzustimmen sind.

Eine mechanische Unkrautbekämpfung kann bis zum Bestandesschluss der Rüben durchgeführt werden. Bei der mechanischen Unkrautbekämpfung mit Hackgeräten müssen in besonderer Weise die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens gegeneinander abgewogen werden.

werden die Rübenpflanzen in ihrem Wachstum stark beeinträchtigt, so dass erhebliche Ertragsverluste entstehen und eine maschinelle Beerntung erschwert oder unmöglich werden kann.

Die chemische Bekämpfung mit Herbiziden ist gekennzeichnet durch eine hohe Wirtschaftlichkeit und Wirksamkeit dieses Verfahrens. Die mechanische Unkrautbekämpfung durch den alleinigen Einsatz von Hackgeräten ist mit den bisher anwendbaren Verfahren nicht ausreichend, da die Unkräuter in der Saatreihe und insbesondere mit geringem Abstand zur Zuckerrübenpflanze nicht erfasst werden können. Dies erfordert die Ergänzung des Hackgeräteeinsatzes durch eine Bandspritzung von Herbiziden oder eine manuelle Bereinigung der verbliebenen Unkrautpflanzen.

Als thermische Bekämpfungsmaßnahme ist das Abflammen im Voraufbau der Zuckerrüben ganzflächig oder in einem Band auf den Saatreihen möglich. Diese Technik eignet sich sowohl aufgrund der unsicheren Wirkung als auch der hohen Verfahrenskosten (geringe Flächenleistung, hoher Energiebedarf) nur sehr begrenzt für die Praxis.

Eine gezielte Wirkstoffkombination, die sich flexibel an die jeweilige Unkrautgesellschaft und Jahreswitterung (Einsatzbedingungen) anlehnt, ist unverzichtbar, um ein gutes und sicheres Bekämpfungsergebnis zu erreichen. Entscheidend für einen hinreichenden Bekämpfungserfolg ist es, die Mittelkombinationen (evtl. unter Zusatz von Additiven), Aufwandmengen und Applikationszeitpunkte optimal aufeinander abzustimmen, um bei hohem Wirkungsgrad das Wachstum der Rüben nicht oder möglichst wenig zu beeinträchtigen. Hierzu sind die regionalen Hinweise anerkannter Beratungsträger (amtliche Beratung, Rübenanbauverbände, Zuckerindustrie) zu beachten. Programme zur Wahl von spezifischen Herbizidmischungen (HerbInfo bei BISZ, LIZ-Herbizid) im Internet berücksichtigen Leitverunkrautung, Witterung, Boden, Bekämpfungstermin und Vorbehandlungen. Bei einer reinen Nachaufbaubehandlung werden die Herbizide gezielt im Keimblattstadium, dem optimalen Bekämpfungszeitpunkt in der Entwicklung von Unkräutern, eingesetzt. Vor allem im Mulchsaverfahren kann zur Beseitigung von Altverunkrautung sowie bei Vorkommen von bestimmten Problemunkräutern der Einsatz von Breitbandherbiziden erforderlich sein.

Sofern seitens der Beratung wirksame Herbizide mit geringeren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt empfohlen werden, sollen diese bevorzugt angewendet werden.

Einige Problemunkräuter und Unkrautrüben lassen sich in Zuckerrüben nur mit mechanischer Bekämpfung zumindest teilweise zurückdrängen.

Die mechanische Unkrautbekämpfung mit Hackgeräten kann das Risiko der Bodenerosion erheblich erhöhen. Für den erosionsmindernden Zuckerrübenanbau im Mulch- oder Direktsaatverfahren ist der Hackgeräteeinsatz daher nicht geeignet.

Zu beachten ist, dass durch den Einsatz von Hackgeräten die Rübenpflanzen verletzt werden können. Dies ist zu vermeiden, da Verletzungen der Pflanzenoberfläche Eintrittspforten für Krankheitserreger darstellen.

Die Bekämpfung von Schossern und Unkrautrüben in Zuckerrübenbeständen sollte vor der Blüte mit mechanischen oder chemischen Maßnahmen durchgeführt werden.

Die Bekämpfung von Schossern ist von hoher Bedeutung für einen nachhaltigen Zuckerrübenanbau, da pro Schosser mehrere Tausend Samen gebildet werden können, die über viele Jahre hinweg auflaufen und damit zu langfristigen Problemen mit Unkrautrüben führen. Auf Flächen mit sehr hohem Besatz kann ein wirtschaftlicher Rübenanbau für mehrere Jahre unmöglich werden. Die anerkannten Beratungsträger erteilen Auskunft darüber, bei welchem Besatz an Schossern bzw. Unkrautrüben/ha welche Maßnahmen zu ergreifen sind. Im Internet sind Informationen dazu bei BISZ, ISIP und LIZ abrufbar (BISZ: <http://bisz.suedzucker.de>, ISIP: <http://www.isip.de>, LIZ: <http://www.liz-online.de>).

---

### Begrenzung auf das notwendige Maß

---

Der Herbizideinsatz in Zuckerrüben wird vor allem nach dem Auflaufen der Zuckerrüben im Keimblattstadium der Unkräuter (NAK) zu mehreren Terminen durchgeführt. Die Auswahl und der Anwendungszeitpunkt der Herbizide erfolgen gezielt entsprechend der vorhandenen Unkrautgesellschaft.

Die Anwendung von Herbiziden im Keimblattstadium der Unkräuter ist bei geeigneter Witterung mit geringen Mengen möglich. Durch die im Zeitverlauf wiederholte Anwendung gegen neu aufgelaufene Unkräuter bleibt der Aufwand insgesamt gering. Auch die Nutzung von an die Verunkrautung angepassten Herbizidmischungen trägt zu einer Minimierung des Herbizidaufwandes bei.

Eine frühzeitige Beseitigung von Altverunkrautung mit einem nichtselektiven Herbizid sollte vor der Aussaat angestrebt werden, da Anwendungen nach der Aussaat, vor dem Auflaufen der Zuckerrüben die Kulturpflanzen schädigen können.

Die Vor- und Nachteile einer weiteren Begrenzung des Herbizideinsatzes, z. B. durch eine Verringerung der Aufwandmenge oder Teilflächenanwendung, müssen hinsichtlich der Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme gegeneinander abgewogen werden.

Durch die übliche wiederholte Applikation von Herbiziden im Nachauflauf werden unnötig hohe Aufwandmengen weitestgehend vermieden. Zur weiteren Begrenzung des Herbizideinsatzes können verschiedene Herangehensweisen in Abhängigkeit der flächenspezifischen Verunkrautungssituation und betriebsindividuellen Gegebenheiten bzw. Möglichkeiten genutzt werden.

mechanische Bekämpfung in Kombination mit Bandspritzung

Eine Kombination aus Bandspritzung und Hackgeräteeinsatz ist möglich. Begrenzende Faktoren für dieses Verfahren sind die maschinelle Ausstattung der Betriebe, die verminderte Flächenleistung und damit verbunden die höheren Arbeiterledigungskosten im Vergleich zur rein chemischen Unkrautbekämpfung. Probleme können hinsichtlich des Erosionsschutzes entstehen.

teilflächenspezifische Herbizidapplikationen

Die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung ermöglicht die Einsparung von Herbiziden und möglicherweise eine Reduktion der Arbeits- und Gerätestunden. Genutzt werden kann dieses Verfahren beispielsweise bei Unkräutern, die nesterweise auftreten.

Minimengenstrategie

Die Anwendung der Minimengenstrategie als Kombination vieler Wirkstoffe mit geringen Aufwandmengen (etwa 1/3 der zugelassenen Aufwandmenge) kann bei günstigen Witterungsbedingungen hohe Wirkungsgrade bei verminderten Mittelkosten und geringerem Behandlungsindex erreichen. Dieses Verfahren setzt eine genaue Kenntnis der Unkrautgesellschaft, das Fehlen von Problemunkräutern, eine termingenaue Applikation und damit hohe Managementanforderungen voraus. Bei dieser Strategie besteht jedoch das Risiko, dass durch den wiederholten Einsatz von geringen Aufwandmengen einzelner Wirkstoffe weniger sensitive

Unkrautpopulationen, die mit den zugelassenen Aufwandmengen noch gut erfasst werden, selektiert werden können.

---

### Resistenzvermeidungsstrategien

---

Resistenzvermeidungsstrategien sind innerhalb der Fruchtfolge anzuwenden. Für den Pflanzenschutz speziell in Zuckerrüben sind derzeit keine spezifischen Resistenzvermeidungsstrategien notwendig.

Durch den sich wiederholenden Einsatz der relativ wenigen im Zuckerrübenanbau verfügbaren Wirkstoffe besteht ein ständiger Selektionsdruck auf die Unkrautgesellschaft. Allerdings ist durch das übliche Mischen von Herbiziden und deren Wirkstoffen der Selektionsdruck deutlich vermindert. Das mögliche Auftreten von Resistenzen ist gleichwohl mit besonderer Aufmerksamkeit zu verfolgen. Beobachtungen von Wirkungsschwächen sollen den anerkannten Beratungsträgern mitgeteilt werden. Nach Möglichkeit sollten mindestens zwei Wirkstoffe mit unterschiedlichen Wirkmechanismen, abgestimmt auf die vorhandene Unkrautgesellschaft, eingesetzt werden. Die Hinweise der anerkannten Beratungsträger und der Hersteller von Pflanzenschutzmitteln sind zu beachten.

---

### 3. Diskussion und Ausblick

Zuckerrüben sind gekennzeichnet durch eine vergleichsweise langsame Jugendentwicklung und eine geringe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern vom Auflaufen bis zum Reihenschluss (BRÄUTIGAM, 1998). Das häufig auf Zuckerrübenfeldern vorkommende Unkraut *Chenopodium album* kann beispielsweise den bereinigten Zuckerertrag (BZE) um 5 - 9 % je Pflanze/m<sup>2</sup> verringern, wenn es im 2- bis 5-Blattstadium der Rüben aufgelaufen ist (WELLMANN, 1999). Werden Zuckerrüben ohne jegliche Unkrautregulierungsmaßnahme angebaut, können Ertragsverluste von bis zu 95 % entstehen (PETERSEN, 2003). Auch bei Anwendung von Herbiziden können die von Unkräutern verursachten Ertragsverluste in Abhängigkeit von Standort, Unkrautpopulation und Zeitpunkt der Unkrautregulierung bzw. Dauer der Verunkrautung 5 - 15 % des BZE betragen. Wobei die Verluste umso geringer ausfallen, je später die Unkräuter auftreten bzw. je früher eine Bekämpfungsmaßnahme durchgeführt wird (BRANDES, 2000; MITTLER et al., 2002). Die Unkrautregulierung und der Erfolg von Bekämpfungsmaßnahmen haben somit eine hohe Bedeutung für den Zuckerrübenanbau und sind entscheidend für die Wirtschaftlichkeit des Anbauverfahrens.

Zum integrierten Unkrautmanagement stehen den Anbauern sowohl vorbeugende indirekte als auch direkte nichtchemische und chemische Bekämpfungsverfahren zur Verfügung. Die in der Leitlinie beschriebenen vorbeugenden Maßnahmen, wie z. B. die Bekämpfung von Unkräutern im Zuge der Stoppel- und Grundbodenbearbeitung, sind allein allerdings nicht ausreichend wirksam und erfordern zusätzliche direkte Bekämpfungsmaßnahmen. Da die Unkrautpflanzen, die innerhalb der Rübenreihe wachsen, beim Einsatz von z. B. Hackgeräten derzeit nicht erfasst werden können, ist bei der Anwendung mechanischer Verfahren eine Nachbereinigung der Felder per Hand unumgänglich (KOUWENHOVEN et al., 1991; VAN DER WEIDE et al., 2008). Für die manuelle Unkrautregulierung werden im ökologischen Zuckerrübenanbau ein Arbeitszeitbedarf je nach Verunkrautung von 50 - 125 (200) AKh/ha und Arbeiterledigungskosten je nach Lohnniveau von 380 - 960 €/ha angenommen (KOLBE und PETZOLD, 2002; ÖKOLANDBAU, 2011).

Der unzureichende Bekämpfungserfolg des Hackmaschineneinsatzes und die hohen Kosten der rein mechanischen Maßnahmen (inkl. Handhacke) führen dazu, dass im konventionellen Zuckerrübenanbau in Deutschland auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zur Unkrautregulierung nicht verzichtet werden kann. Bei Wirkungsgraden von > 95 % und Herbizidkosten von durchschnittlich 215 €/ha stellt die Anwendung von Herbiziden die effizienteste und wirksamste Methode der Unkrautregulierung in Zuckerrüben dar (MÄRLÄNDER et al., 2003; BISZ, 2011; VASEL et al. 2012). Im Jahr 2010 wurden Herbizide auf 99,8 % der Rübenanbaufläche Deutschlands eingesetzt. Üblich sind wiederholte Flächenapplikationen von Herbizidmischungen mit



reduzierten Aufwandmengen im Nachauflauf der Rüben zum Keimblattstadium der Unkräuter. Im Voraufbau werden vor allem im Mulchsaatverfahren zunehmend nichtselektive Herbizide eingesetzt (BUHRE et al., 2011). Die Behandlungshäufigkeit von Herbiziden beträgt laut der NEPTUN-Erhebung von 2009 3,76 und der Behandlungsindex 2,25, was 80 % bzw. 69 % des gesamten Pflanzenschutzmitteleinsatzes in Zuckerrüben entspricht (ROßBERG et al., 2010). Voraussetzung für deren nachhaltigen Einsatz und die Begrenzung der Anwendung auf das notwendige Maß ist die gezielte Abstimmung der eingesetzten Wirkstoffe, Aufwandmengen und Applikationszeitpunkte auf die feldspezifischen Bedingungen. Dafür ist eine genaue Kenntnis der jeweiligen Unkrautpopulation auf dem Feld unerlässlich. Eine weitere Reduktion des Herbizideinsatzes ist mit den in der Leitlinie vorgestellten Verfahren möglich (mechanische Bekämpfung in Kombination mit Bandspritzung, teilflächenspezifische Herbizidapplikationen, Minimengenstrategie). Diese Verfahren erfordern jedoch eine spezifische Technik und/oder eine besondere Sachkenntnis, die nicht auf jedem landwirtschaftlichen Betrieb gegeben sind bzw. nicht als Standard angenommen werden können.

Mit dieser Leitlinie steht dem Praktiker ein zielorientierter Handlungsrahmen für die integrierte Unkrautkontrolle im Zuckerrübenanbau zur Verfügung, der im Einklang mit den Vorgaben und Zielen der EU-Gesetzgebung und den Forderungen der Gesellschaft bezüglich des nachhaltigen Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln steht. Die IPS-Leitlinien können somit einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung des Zuckerrübenanbaus in Deutschland leisten. Um eine möglichst flächendeckende Anwendung des gesamten Leitlinienkonzepts zu gewährleisten, wäre es denkbar, die Leitlinien zukünftig verpflichtend in die Anbauverträge zwischen Zuckerunternehmen und Anbauern ("Branchenvereinbarung") zu integrieren.

## Danksagung

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

## Literatur

- BISZ, 2011: BERATUNG UND INFORMATION FÜR DEN SÜDDEUTSCHEN ZUCKERRÜBENANBAU - PFLANZENSCHUTZ, HERBIZIDEMPFEHLUNGEN, REGIONAL. [HTTP://BISZ.SUEDZUCKER.DE](http://bisz.suedzucker.de).
- BRANDES, A., 2000: ERTRAG UND QUALITÄT VON ZUCKERRÜBEN IN ABHÄNGIGKEIT VON RESTVERUNKRAUTUNG UND STANDORT. DISSERTATION, UNIVERSITÄT GÖTTINGEN.
- BRÄUTIGAM, H., 1998: UNTERSUCHUNGEN ZUR KONKURRENZ ZWISCHEN UNKRAUT UND ZUCKERRÜBEN - AUFTRETEN, URSACHEN UND KONSEQUENZEN FÜR DIE UNKRAUTREGULIERUNG. DISSERTATION, UNIVERSITÄT GÖTTINGEN.
- BUHRE, C., P. FECKE, F. NELLES, G. SCHLINKER UND E. LADEWIG, 2011: ENTWICKLUNGEN IM PFLANZENSCHUTZ IN ZUCKERRÜBEN AUS DER UMFRAGE PRODUKTIONSTECHNIK IM VERGLEICH ZUR ERHEBUNG NEPTUN. SUGAR INDUSTRY **136**, SONDERHEFT 10. GÖTTINGER ZUCKERRÜBENTAGUNG, 13-20.
- GUMMERT, A., E. LADEWIG, P. LUKASHYK UND B. MÄRLÄNDER, 2011: LEITLINIEN DES INTEGRIERTEN PFLANZENSCHUTZES IM ZUCKERRÜBENANBAU. HRSG.: INSTITUT FÜR ZUCKERRÜBENFORSCHUNG, GÖTTINGEN.
- KOLBE, H. UND W. PETZOLD, 2002: ZUCKERRÜBENANBAU IM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU - INFORMATIONEN FÜR PRAXIS UND BERATUNG. HRSG.: SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, DRESDEN.
- KOUWENHOVEN, J.K., J.D.A. WEVERS UND B.J. POST, 1991: POSSIBILITIES OF MECHANICAL POST-EMERGENCE WEED CONTROL IN SUGAR BEET. SOIL & TILLAGE RESEARCH **21**, 85-95.
- MÄRLÄNDER, B., C. HOFFMANN, H.-J. KOCH, E. LADEWIG, R. MERKES, J. PETERSEN UND N. STOCKFISCH, 2003: ENVIRONMENTAL SITUATION AND YIELD PERFORMANCE OF THE SUGAR BEET CROP IN GERMANY: HEADING FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. JOURNAL OF AGRONOMY & CROP SCIENCE **189**, 201-226.
- MITTLER, S., J. PETERSEN UND H.-J. KOCH, 2002: BEKÄMPFUNGSSCHWELLEN BEI DER UNKRAUTREGULIERUNG IN ZUCKERRÜBEN. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SONDERHEFT XVIII**, 499-509.
- ÖKOLANDBAU, 2011. KULTURDATENBLATT ZUCKERRÜBE. [WWW.OEKOLANDBAU.DE](http://www.oekolandbau.de).
- PETERSEN, J., 2003: A REVIEW ON WEED CONTROL IN SUGARBEET: FROM TOLERANCE ZERO TO PERIOD THRESHOLD. IN: INDERIJT (HRSG.): WEED BIOLOGY AND MANAGEMENT, PP. 467-483. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, DORDRECHT.
- ROßBERG, D., E.-H. VASEL UND E. LADEWIG, 2010: NEPTUN 2009 - ZUCKERRÜBE. BERICHT AUS DEM JULIUS KÜHN-INSTITUT **152**.
- VAN DER WEIDE, R.Y., P.O. BLEEKER, V.T.J.M. ACHTEN, L.A.P. LOTZ, F. FOGELBERG UND B. MELANDER, 2008: INNOVATION IN MECHANICAL WEED CONTROL IN CROP ROWS. WEED RESEARCH **48**, 215-224.

VASEL, E.-H., E. LADEWIG UND B. MÄRLÄNDER, 2012: WEED COMPOSITION AND HERBICIDE STRATEGIES IN SUGAR BEET CULTIVATION IN GERMANY. *IN VORBEREITUNG.*

WELLMANN, A., 1999: KONKURRENZBEZIEHUNGEN UND SCHADENSPROGNOSE IN ZUCKERRÜBEN BEI VARIERTEM ZEITLICHEN AUFTRETEN VON *CHENOPODIUM ALBUM* L. UND *CHAMOMILLA RECUTITA* (L.) RAUSCHERT. DISSERTATION, UNIVERSITÄT GÖTTINGEN.

## Wirksamkeit unterschiedlicher Herbizide bzw. Herbizidmischungen gegen Imidazolinon-toleranten Ausfallraps in Zuckerrüben

*Response of imidazolinone-tolerant volunteer oilseed rape to herbicides and herbicide mixtures used for broad-leaved weed control in sugar beet*

Christoph Krato\* & Jan Petersen

Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Sciences and Engineering, Berlinstrasse 109, D-55411 Bingen (am Rhein)

\*Korrespondierender Autor, krato@fh-bingen.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.043

### Zusammenfassung

Durch den höheren Anteil von Raps (*Brassica napus*) in Zuckerrübenfruchtfolgen kann in den nachgebauten Kulturen zunehmend Ausfallraps auftreten. Der Sulfonylharnstoff Triflursulfuron gilt als wichtiger Baustein bei der Ausfallrapskontrolle in Zuckerrüben. Durch die Einführung Imidazolinon-toleranter Rapsorten (Clearfield®-Raps) kann sich die Herbizidauswahl und somit die Ausfallrapskontrolle in Zuckerrüben jedoch verändern, da bei den Ausfallrapspflanzen eine partielle Kreuzresistenz gegen ALS-Inhibitoren vorliegt. Ziel der Untersuchung war es, sechs verschiedene Herbizidstrategien auf ihre Wirksamkeit gegen Imidazolinon-toleranten Ausfallraps zu überprüfen. Imidazolinon-toleranter Ausfallraps zeigte eine ausgeprägte Kreuzresistenz gegen Triflursulfuron im Feld (mittlerer Wirkungsgrad 14 %). Auch die Kombination mit dem Wirkstoff Metamitron führte zu keiner zufriedenstellenden Erhöhung des Wirkungsgrades. In diesen Fällen zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen Imidazolinon-empfindlichen und -toleranten Rapsorten. Eine Reduktion der Sprossfrischmasse von > 90 % bei Imidazolinon-tolerantem Ausfallraps wurde durch Herbizidmischungen mit den Wirkstoffen Desmedipham, Phenmedipham, Ethofumesat, Chloridazon und Quinmerac erreicht. Die Ergebnisse zeigten, dass Triflursulfuron für die Erfassung von Imidazolinon-tolerantem Ausfallraps wenig geeignet ist, alternative Wirkstoffe jedoch vorhanden sind. Generell muss dem Ausfallrapsmanagement bei Anbau von Imidazolinon-tolerantem Raps über die gesamte Fruchtfolge hinweg eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt werden, beginnend mit einer geeigneten Bodenbearbeitung nach der Rapsernte, gefolgt von einer effektiven chemischen Kontrolle mit einer Kombination der Wirkstoffe Metamitron, Phenmedipham, Desmedipham, Ethofumesat und Lenaciel in nachgebauten Zuckerrüben.

**Stichwörter:** Ausfallrapsmanagement, Clearfield®, Fruchtfolge, Herbizidtoleranz, Imidazolinone, Triflursulfuron, Winterraps

### Summary

Due to a higher proportion of oilseed rape (*Brassica napus*) in sugar beet rotations, volunteer oilseed rape can occur in increased numbers in subsequent crops. The sulfonylurea triflursulfuron is widely used for broad-leaved weed control in sugar beet, but may no longer be effective to control imidazolinone-tolerant volunteers when imidazolinone-tolerant oilseed rape is grown, which is due to a cross-tolerance to ALS-inhibiting herbicides. Aim of the study was to evaluate six different herbicide strategies for the control of tolerant volunteer oilseed rape. As a result, imidazolinone-tolerant oilseed rape showed a distinctive cross-resistance to triflursulfuron in the field. Mean herbicide efficacy was 14 % and was only slightly increased by combination with metamitron. Imidazolinone-susceptible and -tolerant oilseed rape varieties showed different response to the herbicide treatments. A significantly higher reduction of plant fresh mass (shoot) > 90 % was caused by herbicide treatments that included the active ingredients desmedipham, phenmedipham, ethofumesate, chloridazon and quinmerac. The results showed that triflursulfuron is no longer suitable to control volunteers if they are derived from imidazolinone-tolerance expressing varieties. However, alternative herbicides are available. Generally, increased attention has to be paid to volunteer management within the whole crop rotation if imidazolinone-tolerant oilseed rape is grown. Appropriate tillage strategies after oilseed rape harvest have to be followed by effective herbicide treatments in the subsequent sugar beet, for example a mixture of metamitron, phenmedipham, desmedipham, ethofumesat and lenaciel.

**Keywords:** Clearfield®, crop rotation, herbicide tolerance, imidazolinones, oilseed rape, triflursulfuron, volunteer management

## 1. Einleitung

Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) werden weltweit mit einer Fläche von ca. 7 Mio. ha angebaut. Die gesamte Zuckerproduktion liegt bei 140 Mio. t jährlich, wobei ein Viertel durch den Anbau der Zuckerrübe bereitgestellt wird (DRAYCOTT, 2006). Um den Ertrag zu optimieren, müssen negative Einflussfaktoren minimiert werden. Ein wichtiger Schadfaktor ist die Unkrautflora innerhalb des Bestandes. Von den weltweit ca. 250 wichtigen Unkrautarten können ungefähr 60 % in den Hauptanbaubereichen der Zuckerrübe gefunden werden (MAY und WILSON, 2006). Bei mangelnder Kontrolle konkurrieren Unkräuter mit der Kulturpflanze um limitierende Umweltressourcen wie Licht, Wasser, Nährstoffen und andere Wachstumsfaktoren (FROUD-WILLIAMS, 2002). Folge dieser Konkurrenz können z.B. Ertrags- und Qualitätsverlust sowie ein Verlust an Produktivität durch erhöhten Produktionsaufwand sein (CHANDLER, 1981). Neben der Möglichkeit zur mechanischen Unkrautkontrolle hat vor allem die chemische Kontrolle durch Herbizide eine sehr große Bedeutung. Unkräuter, die innerhalb von acht Wochen nach der Saat der Zuckerrüben auflaufen, können einen Ertragsverlust zwischen 26 und 100 % verursachen, wenn sie nicht kontrolliert werden (SCHWEIZER und DEXTER, 1987). Um eine negative Ertragswirkung ausschließen zu können, sollte eine Unkrautbekämpfung daher im frühen Nachauflauf erfolgen.

Auch einige Nutzpflanzen, z.B. Raps (*Brassica napus*), zählen zu den weltweit wichtigen Unkräutern (HOLM et al., 1977), da sie als Ausfallpflanzen in nachgebauten Kulturen auftreten können. Vor allem die Rapserte birgt ein sehr hohes Potential für den Eintrag von Ausfallsamen in den Ackerboden. Abhängig von Witterungseinflüssen vor der Ernte und Samenverlusten beim Drusch können sich Ernteverluste im Mittel auf rund 3500 Samen/m<sup>2</sup> belaufen (GRUBER et al., 2004; LUTMAN et al., 2005), wobei die Spanne bei 2000 bis 12000 Samen/m<sup>2</sup> liegt. Aus diesen Samen können dann Ausfallrapspflanzen auflaufen. Es ist bekannt das Rapssamen im Boden lange überlebensfähig sind (LUTMAN et al., 2003) und somit ein stetes Auflaufen von Ausfallraps innerhalb der Fruchtfolge möglich ist.

Bedingt durch einen steigenden Anteil von Raps in Zuckerrübenfruchtfolgen wird auch das Auftreten von Ausfallraps in Zuckerrüben zunehmen. Nicht kontrollierter Ausfallraps kann durchaus ertragsrelevant sein. STEFANOVSKA und PIDLISNYUK (2009) haben außerdem gezeigt, dass der Rübennematode *Heterodera schachtii* in Raps-Rüben Fruchtfolgen einen starken Populationsanstieg bei dem Vorhandensein von Ausfallraps zeigt und so die Rüben signifikant schädigen kann. Auch der Erreger der Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*) kann Ausfallraps als potentiellen Zwischenwirt nutzen, um sich langfristig zu etablieren. Daher ist eine frühzeitige und effektive Beseitigung von Ausfallraps in allen Fruchtfolgegliedern aus phytosanitären Gesichtspunkten notwendig.

Der Sulfonylharnstoff Triflursulfuron ist seit Mitte der Neunziger Jahre in Zuckerrüben zugelassen und wird als selektives Nachauflaufferbizid zur Kontrolle dikotyler Unkräuter eingesetzt (WITTENBACH et al., 1994). Als Mischungspartner erfasst der Wirkstoff auftretenden Ausfallraps bisher zuverlässig. In naher Zukunft soll das Clearfield® Produktionssystem, bestehend aus Imidazolinon-toleranten Winterrapsorten und Komplementärherbiziden mit dem Wirkstoff Imazamox eingeführt werden (BREMER, 2011). Der Toleranz liegen zwei Punktmutationen in der Acetolactatsynthase (ALS) zugrunde. Dieses Enzym ist Zielort aller ALS-Inhibitoren, zu denen auch die Imidazolinone gehören. Das Auftreten von Imidazolinon-tolerantem Ausfallraps als Unkraut in Zuckerrüben könnte konsequenterweise einen Einfluss auf die Herbizidauswahl haben. Hohe Wirkungsgrade von Triflursulfuron gegen Ausfallraps werden postuliert, eine Erfassung Imidazolinon-toleranter Pflanzen wird jedoch aufgrund der Kreuzresistenz nicht möglich sein. Ziel der Untersuchung war es daher, eine Minderwirkung von Triflursulfuron gegen Imidazolinon-toleranten Ausfallraps zu verifizieren und eine alternative Herbizidstrategie zur Ausfallrapskontrolle in Zuckerrüben zu entwickeln.

## 2. Material und Methoden

Ein Feldversuch zur Ausfallrapskontrolle in Zuckerrüben wurde dreijährig auf Praxisflächen (Bingen, 89 m ü.N.N., Durchschnittstemperatur: 9,9°C, durchschnittlicher Niederschlag: 548 mm, Bodenart: sL) des landwirtschaftlichen Versuchsbetriebs der Fachhochschule Bingen durchgeführt. Die

Zuckerrübensaat wurde mit einem Einzelkornsäugerät mit einer Saattiefe von 3 cm und einem Reihenabstand von 50 cm vorgenommen. Vorfrucht vor Zuckerrüben war Wintergerste im ersten Versuchsjahr (2008) und Winterweizen in den Jahren 2009 und 2010, wobei die Bodenbearbeitung ausschließlich pfluglos durchgeführt wurde. Die Saattermine der Zuckerrüben waren 4. April 2009 (Sorte 'KWS 513-1' und 'KWS 681-3'), 25. März 2010 (Sorte 'Sporta') und 25. März 2011 (Sorte 'Sporta'). Die Parzellen hatten eine Größe von 2 m x 8 m und waren in einer randomisierten Spaltenanlage mit vier Wiederholungen angeordnet. In den Versuchsjahren 2009 und 2010 wurden je zwei Sorten von Imidazolinon-empfindlichem bzw. -tolerantem Ausfallraps mit einer Parzellensämaschine Hege 140 (Doppelscheibenschar) direkt in die Parzellen eingesät (Tab. 1). Die Saattiefe betrug 100 Körner/m<sup>2</sup> mit einem Reihenabstand von 12,5 cm. Um eine heterogene Keimung des Ausfallrapses zu evozieren, wurden die Säschare alternierend auf 3 bzw. 6 cm eingestellt. Um das Auflaufverhalten weiter zu modifizieren, wurden die Rapsamen der Sorten im Versuchsjahr 2011 nicht gesät, sondern kurz vor der Saat per Hand großflächig auf das Feld gestreut (Menge entsprach 1,5 % Ernteverlust bei einem Ertrag von 45 dt/ha). Am darauffolgenden Tag wurden die Samen mit einem Schwergrubber bis zu 15 cm tief in den Boden eingearbeitet.

**Tab. 1** Verwendete Rapsorten (Imidazolinon-tolerant oder -empfindlich) in Versuchen zur chemischen Ausfallrapskontrolle in den Jahren 2009-2011.

**Tab. 1** *Oilseed rape varieties (tolerant and non-tolerant to imidazolinones) used in field trials with different herbicide applications in the years 2009-2011.*

Versuchsjahr	Imidazolinon-empfindliche Rapsorten	Imidazolinon-tolerante Rapsorten
2009	NK-Fair	PS22-1A
2010	Visby	CL_OSR_0004
2011	Sortengemisch	CL_OSR_0004

Die Imidazolinon-toleranten Rapsorten waren homozygot für das Merkmal Herbizidtoleranz und wurden von der BASF SE Limburgerhof zur Verfügung gestellt. Als Prüffaktor wurden nicht die einzelnen Rapsorten, sondern ausschließlich die, für die Versuchsfrage ausschlaggebende, Eigenschaft Imidazolinontoleranz/Imidazolinonempfindlichkeit angesehen (zwei Prüfstufen). Insgesamt wurden sechs verschiedene Herbizidstrategien angewendet (sechs Prüfstufen; Tab. 2), wobei zu Tankmischungen, die das Herbizid Debut enthielten, 0,25 l/ha des Adjuvants Trend 90 gegeben wurde. Goltix SC und Rebell wurden in den Versuchsjahren 2010 und 2011 durch die entsprechenden Produkte Goltix Gold bzw. Rebell Ultra ersetzt. 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. Jede Herbizidvariante wurde im Splittingverfahren in BBCH 10, 12-14 und 16-18 der Zuckerrüben durchgeführt. Die Herbizidwirkung wurde anhand der Ernte des Ausfallrapses und anschließender Frischmassebestimmung in einem Zeitraum von 3 bis 4 Wochen nach der Abschluss-spritzung ermittelt. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit SigmaPlot 11.0 (Sysstat Software, Inc). Die Daten wurden auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test) und Varianzhomogenität geprüft und gegebenenfalls Wurzel-transformiert, um diese Bedingungen zu erreichen. Da die mittlere Frischmasse unbehandelter Pflanzen in den drei Versuchsjahren stark variierte, wurden für eine weitere Auswertung die Frischmassedaten in Relativzahlen umgewandelt und mittels Varianzanalyse (ANOVA) ausgewertet. Multiple Mittelwertvergleiche wurden unter Verwendung von Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) bei  $\alpha = 0,05$  durchgeführt. Varianten innerhalb einer Rapsorte sind durch unterschiedliche Klein- und Großbuchstaben gekennzeichnet. Unterschiede in der Frischmasse der Rapsgenotypen einer Herbizidbehandlung wurden mit einem T-Test ( $\alpha = 0,05$ ) überprüft.

**Tab. 2** Herbizidvarianten zur Kontrolle von Imidazolinon-empfindlichem und -tolerantem Ausfallraps in Zuckerrüben in Feldversuchen in den Jahren 2009-2011.

**Tab. 2** *Herbicide treatments to control imidazolinone-susceptible and -tolerant volunteer oilseed rape in sugar beet in field trials in the years 2009-2011.*

VG	Produktname	Wirkstoff	Produktaufwandmenge [kg oder l/ha]		
			NAK 1	NAK 2	NAK 3
1	Unbehandelt	-	-	-	-
2	Debut	Triflursulfuron*	0,025	0,025	0,025
3	Goltix SC/Gold	Metamitron	2,0	1,5	1,5
4	Goltix SC/Gold	Metamitron	0,8	1,0	1,0
	Betanal Expert	Phen- u. Desmedipham/Ethofumesat	0,8	1,0	1,0
	Rebell/Rebell Ultra	Chloridazon/Quinmerac	0,8	1,0	1,0
5	Goltix SC/Gold	Metamitron	1,5	1,25	1,25
	Debut	Triflursulfuron*	0,02	0,02	0,02
6	Goltix SC/Gold	Metamitron	1,0	1,0	1,0
	Debut	Triflursulfuron*	0,025	0,025	0,025
	Betanal Expert	Phen- u. Desmedipham/Ethofumesat	1,0	1,0	1,0
	Venzar 500 SC	Lenacil	0,1	0,2	0,3

NAK = Nachauflauf Kultur; \*gleicher Wirkungsmechanismus wie Imidazolinone

### 3. Ergebnisse

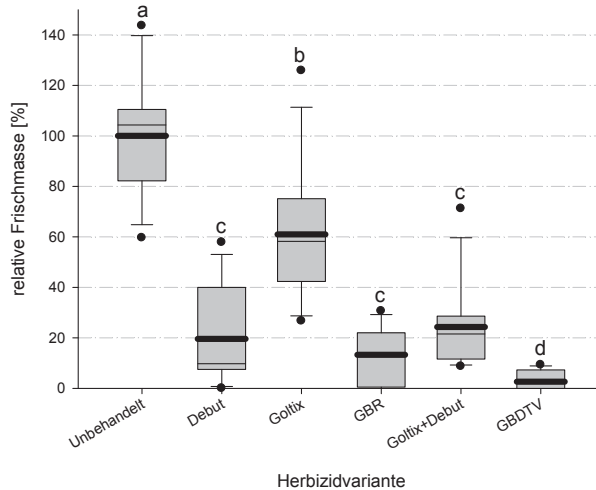
Durch die Einsaat der Rapsamen in den Versuchsjahren 2009 und 2010 konnte in den unbehandelten Kontrollparzellen der Zuckerrüben eine mittlere Ausfallrapsdichte von 73 bis zu 94 Pflanzen/m<sup>2</sup> erreicht werden (Daten nicht gezeigt). Dies wurde durch das Einstreuen der Samen im letzten Versuchsjahr auf bis zu 953 Pflanzen/m<sup>2</sup> erheblich gesteigert. Aufgrund der unterschiedlichen Rapsorten und Witterungsverhältnisse während der Versuchsperioden zeigte sich eine große Variation innerhalb der gemessenen Rapsfrischmasse. War die Pflanzenmasse unbehandelter Ausfallrapspflanzen im ersten Versuchsjahr sehr hoch mit 41,6 (empfindliche Sorte) bzw. 60,4 g/Pflanze (tolerante Sorte), wurden im Vergleich dazu im letzten Versuchsjahr mittlere Gewichte von 6,6 bzw. 6,3 g/Pflanze ermittelt.

Alle Herbizidbehandlungen konnten die Frischmasse Imidazolinon-empfindlicher Ausfallrapspflanzen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant reduzieren (Abb. 1). Zwischen den einzelnen Herbizidvarianten gab es deutliche Abstufungen. War eine alleinige Applikation des Herbizids Goltix SC/Goltix Gold (Metamitron) wenig erfolgreich, konnte die Wirkung durch Mischung mit Debut (Triflursulfuron) im Mittel um 40 % gesteigert werden. Den höchsten Wirkungsgrad erzielte die Herbizidmischung GBDTV (Variante Nr. 6) unter Zugabe eines Additivs mit einer Frischmassereduktion von fast 98 %.

Auch beim Imidazolinon-toleranten Ausfallrapses zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen (Abb. 2). Bei Soloapplikation von Debut konnte die Frischmasse im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle nur marginal reduziert werden, die Kombination mit Metamitron erreichte nur einen Wirkungsgrad von 65 %. Auch hier zeigte die Herbizidmischung GBDTV die stabilste und höchste Wirkung. Eine signifikant geringere Wirkung gegen die Imidazolinon-toleranten Sorten, im Vergleich zu den empfindlichen Sorten, ergab sich für die Herbizidbehandlungen Debut und Debut + Goltix.

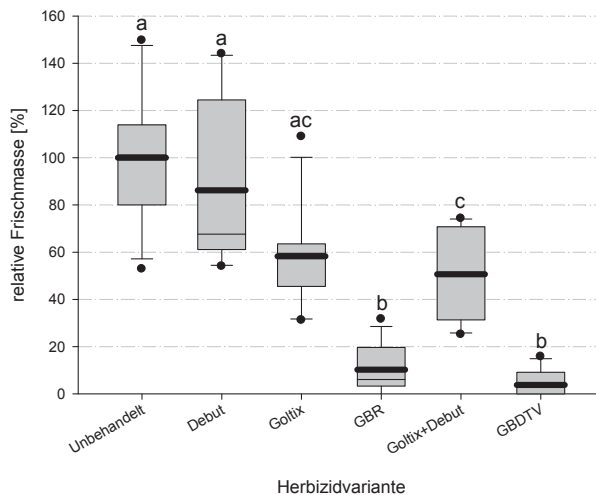
Ausfallrapspflanzen, die nach der Herbizidapplikation nicht vollständig abstarben, sondern einzig Symptome wie Chlorosen, Wuchsstagnation oder leichte Blattverformungen zeigten, wiesen ein hohes Regenerationspotential während der Vegetationsperiode auf. Die Pflanzen waren oftmals in

der Lage, die Wuchsdepression durch die Herbizidbehandlung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle aufzuholen, in die Blühphase überzugehen und reife, keimfähige Samen auszubilden.



**Abb. 1** Frischmassereduktion bei Imidazolinon-empfindlichem Ausfallraps in Abhängigkeit der Herbizidbehandlung (Praxisflächen am Standort Bingen 2009-2011). 100 % entspricht dem Mittelwert der unbehandelten Kontrolle. Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant bei  $p \leq 0,05$ .

**Fig. 1** Reduction in fresh mass (shoot) of imidazolinone-susceptible volunteer oilseed rape depending on the herbicide treatment (location Bingen 2009-2011). 100 % equals mean fresh mass (shoot) of untreated plants. Significant differences at  $p \leq 0.05$  are indicated using small letters.



**Abb. 2** Frischmassereduktion bei Imidazolinon-tolerantem Ausfallraps in Abhängigkeit der Herbizidbehandlung (Praxisflächen am Standort Bingen 2009-2011). 100 % entspricht dem Mittelwert der unbehandelten Kontrolle. Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant bei  $p \leq 0,05$ .

**Fig. 2** Reduction in fresh mass (shoot) of imidazolinone-tolerant volunteer oilseed rape depending on the herbicide treatment (location Bingen 2009-2011). 100 % equals mean fresh mass (shoot) of untreated plants. Significant differences at  $p \leq 0.05$  are indicated using small letters.

#### 4. Diskussion

Der Wirkstoff Triflursulfuron ist charakterisiert durch eine hohe Kulturpflanzenverträglichkeit und ein breites Wirkungsspektrum gegen dikotyle Unkräuter. Auch Ausfallraps wird in der Regel gut erfasst. Die Wirkungssicherheit von Sulfonylharnstoffen wie Triflursulfuron kann aber stark witterungsabhängig sein, bei ungünstigen Bedingungen können auch gegen sensitive Unkräuter Minderwirkungen auftreten. Eine schnelle und effektive Aufnahme herbizider Wirkstoffe über das Blatt wird von vielen Umweltfaktoren, wie z.B. der Luftfeuchtigkeit, beeinflusst. Diesen Zusammenhang zeigten auch Versuchsergebnisse von KUDSK et al. (1990). Dort konnte die Wirkung des Sulfonylharnstoffes Thiameturon-Methyl durch Erhöhung der Luftfeuchtigkeit gesteigert werden.

In eigenen Dosis-Wirkungs-Studien im Gewächshaus wurde eine deutlich ausgeprägte Kreuzresistenz von imidazolinon-tolerantem Raps gegenüber Triflursulfuron nachgewiesen (Daten nicht gezeigt) und durch die vorliegenden Ergebnisse auch im Feld bestätigt. Daraus lässt sich ableiten, das Triflursulfuron als Mischungskomponente nicht mehr uneingeschränkt zur Erfassung des Ausfallrapses geeignet ist, wenn Clearfield®-Sorten mit Imidazolinon-Toleranz in die Fruchtfolge integriert werden. Die ohnehin schwierige Durchwuchsrapsbekämpfung in Zuckerrüben wird bei Auftreten Imidazolinon-toleranter Rapspflanzen konsequenterweise verschärft. Die Hauptlast der Bekämpfung liegt dann auf Metamitron (Goltix)-haltigen Mischungen. Die Integration von Raps im Allgemeinen und Imidazolinon-tolerantem Raps im Speziellen in Rübenfruchtfolgen muss daher ab gewägt werden. Sollte eine Integration erfolgen, sind alternative Herbizide aus anderen Wirkstoffklassen vermutlich nicht von der Imidazolinon-Toleranz betroffen. Hohe Wirkungsgrade nach Applikation von Mischungen mit Metamitron, Phenmedipham, Desmedipham und Ethofumesat haben dies gezeigt. Eine vergleichbare Sensitivität Imidazolinon-toleranter und -empfindlicher Rapspflanzen gegen den Wirkstoff Metribuzin wurde nachgewiesen (BECKIE et al., 2004).

Dennoch können Wirkungsgrade bei schlechten Applikationsbedingungen wie z.B. Trockenheit abfallen und zu einem höheren Bekämpfungsaufwand führen (zusätzliche Überfahrten). Bei Herbizidempfehlungen zur Bekämpfung Imidazolinon-toleranter Ausfallrapses sollte auf die Applikation vergleichsweise hoher Aufwandmengen, die Wahl des optimalen Applikationszeitpunktes und den Zusatz von Additiven verwiesen werden. Der wirkungssteigernde Effekt von Zusatzstoffen ist mehrfach gezeigt worden (ZABKIEWICZ, 2000). In jedem Fall sind Wirkungsgrade >95 % anzustreben. Das hohe Regenerationspotential überlebender Ausfallrapspflanzen und die Möglichkeit zur Blüten- und Samenbildung würden bei zu geringen Wirkungsgraden zur Überdauerung dieses Genotyps auf der Fläche führen.

Die genetische Grundlage der Herbizidtoleranz in Imidazolinon-toleranten Winterrapsorten stammt aus den Imidazolinon-toleranten kanadischen Sommerrapslinien PM1 und PM2 (SWANSON et al., 1989). Eigentlich benötigt Winterraps eine Zeitspanne von ca. drei Wochen mit Temperaturen von 2-4 °C für die Induktion der Blüte (MAKOWSKI, 2000). Dies dürfte durch vereinzelte Spätfröste jedoch nicht ausreichend gewährleistet sein. Trotzdem wurden am Ende der Versuchsperioden reife Samen an Rapspflanzen beobachtet. Auch in anderen Studien wurde eine späte Rapsblüte mit anschließender Samenbildung beobachtet (GRUBER et al., 2005). Es kann vermutet werden, dass die Einkreuzung genetischer Merkmale aus Sommer- in Winterrapsorten einen Einfluss auch auf das Vernalisationsbedürfnis der Pflanze hat.

Generell muss dem Ausfallrapsmanagement bei Anbau von Imidazolinon-tolerantem Raps über die gesamte Fruchtfolge hinweg eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt werden. Beginnend mit einer angepassten Bodenbearbeitung nach der Rapsernte, die, wenn überhaupt, flach und zeitverzögert durchgeführt werden sollte (PEKRUN et al., 1998, GRUBER et al., 2010), gefolgt von einer effektiven chemischen Kontrolle in allen Fruchtfolgegliedern.

#### Danksagung

Der Dank der Autoren gilt den Projektpartnern der BASF SE Agrar (Limburgerhof) für die finanzielle und technische Unterstützung des Versuchsvorhabens und im speziellen Herrn Harald Daiksel für die tatkräftige Unterstützung während der praktischen Versuchsdurchführung.



## 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.
- BREMER, H., 2011: THE CLEARFIELD® PRODUCTION SYSTEM IN OILSEED RAPE – A NEW HERBICIDE GENERATION IN OILSEED RAPE IN EUROPE. PROCEEDINGS OF THE 13<sup>TH</sup> INTERNATIONAL RAPESEED CONGRESS, ABSTRACT BOOK, P. 61.
- CHANDLER, J.M., 1981: ESTIMATED LOSSES OF CROPS TO WEEDS. IN: HANSON, A.A. (ED.), 1981: CRC HANDBOOK OF PEST MANAGEMENT IN AGRICULTURE (VOLUME 1), PP. 95-109. CRC PRESS INC., BOCA RATON.
- DRAYCOTT, A.P., 2006: INTRODUCTION. IN: DRAYCOTT, A.P. (ED.), 2006: WORLD AGRICULTURAL SERIES: SUGAR BEET, PP. 1-8. BLACKWELL PUBLISHING LTD, OXFORD.
- FROUD-WILLIAMS, R.J., 2002: WEED COMPETITION. IN: NAYLOR, R.E.L. (ED.), 2002: WEED MANAGEMENT HANDBOOK, PP. 16-38. BLACKWELL PUBLISHING LTD, OXFORD.
- GRUBER, S., C. PEKRUN UND W. CLAUPEIN, 2004: REDUCING OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*) 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., A. BÜHLER, J. MÖHRING UND W. CLAUPEIN, 2010: SLEEPERS IN THE SOIL – VERTICAL DISTRIBUTION AND LONG-TERM SURVIVAL OF OILSEED RAPESEEDS COMPARED WITH PLASTIC PELLETS. *EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY* **33**, 81-88.
- HOLM, L.G., D. PLUCKNETT, J. PANCHO UND J. HERBERGER, 1977: THE WORLD'S WORST WEEDS. UNIVERSITY PRESS OF HAWAII, HONOLULU.
- KUDSK, P., T. OLESEN UND E. THONKE, 1990: THE INFLUENCE OF TEMPERATURE, HUMIDITY AND SIMULATED RAIN ON THE PERFORMANCE OF THIAMETURON-METHYL. *WEED RESEARCH* **30**, 261-269.
- LUTMAN P.J.W., FREEMAN S.E. UND PEKRUN C., 2003: THE LONG-TERM PERSISTENCE OF SEED OF OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*) IN ARABLE FIELDS. *JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE* **140**, 230-240.
- 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 BIOLOGICAL SCIENCES* **272**, 1909-1915.
- MAKOWSKI, N. 2000: ÖLFRÜCHTE. IN: LÜTKE-ENTRUP, N UND J. OEHMICHEN (EDS.), 2000: LEHRBUCH DES PFLANZENBAUES, BAND 2: KULTURPFLANZEN, PP.513-552. VERLAG TH. MANN.
- MAY, J.M. UND R.G.WILSON, 2006: WEEDS AND WEED CONTROL. IN: DRAYCOTT, A.P. (ED.), 2006: WORLD AGRICULTURAL SERIES: SUGAR BEET, PP. 359-383. BLACKWELL PUBLISHING LTD, OXFORD.
- PEKRUN C., P.J.W. LUTMAN UND K. BAEUMER, 1998: RESEARCH ON VOLUNTEER RAPE: A REVIEW. *PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN* **2**, 84-90.
- PEKRUN C., J.D.J. HEWITT UND P.J.W. LUTMAN, 1998: CULTURAL CONTROL OF VOLUNTEER OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*). *JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE* **130**, 155-163.
- SCHWEIZER, E.E. UND A.G. DEXTER, 1987: WEED CONTROL IN SUGARBEETS (*BETA VULGARIS*) IN NORTH AMERICA. *REVIEWS OF WEED SCIENCE* **3**, 1133.
- STEFANOVSKA T. UND V. PIDLISNYUK, 2009: CHALLENGES TO GROW OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*) IN SUGAR BEET ROTATIONS. *COMMUNICATIONS IN AGRICULTURAL AND APPLIED BIOLOGICAL SCIENCES* **74**, 573-579.
- SWANSON, E.B., M.J. HERRGESELL, M. ARNOLDO, D.W. SIPPELL UND R.S.C. WONG, 1989: MICROSPORE MUTAGENESIS AND SELECTION: CANOLA PLANTS WITH FIELD TOLERANCE TO THE IMIDAZOLINONES. *THEORETICAL AND APPLIED GENETICS* **78**, 525-530.
- WITTENBACH, V.A., M.K. KOEPE, F.T. LICHTNER, W.T. ZIMMERMAN UND R.W. REISER, 1994: BASIS OF SELECTIVITY OF TRIFLUSULFURON-METHYL IN SUGAR BEETS (*BETA VULGARIS*). *PESTICIDE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY* **49**, 72-81.
- ZABKIEWICZ, J.A., 2000: ADJUVANTS AND HERBICIDAL EFFICACY – PRESENT STATUS AND FUTURE PROSPECTS. *WEED RESEARCH* **40**, 139-149.



## Marker-assisted identification of oilseed rape volunteers in oilseed rape (*Brassica napus L.*) fields

*Marker-vermittelte Identifizierung von Durchwuchsrapen in Rapsfeldern*

Heinrich Thöle & Antje Dietz-Pfeilstetter\*

Julius Kühn-Institut, Institut für Sicherheit in der Gentechnik bei Pflanzen

Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany

\*Corresponding author, antje.dietz@jki.bund.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.044

### Summary

Seed losses of oilseed rape (OSR) occur before and during harvest. Seeds can persist in soils for several years and often appear as volunteers in successive crops. Oilseed rape volunteers (OSRV) can harm the product quality if they emerge in subsequent OSR crops differing in fatty acid profile or other quality traits.

Several factors can affect volunteer abundance. Important factors identified under controlled conditions are OSR post-harvest management (stubble tillage) and OSR variety selection in terms of the genotypic secondary dormancy potential.

In the growing seasons 2009/10 and 2010/11, OSR volunteer abundance was surveyed on agricultural OSR fields in Germany. The main objective was to assess factors affecting volunteer abundance under on-farm conditions by a prediction model. Volunteer numbers were determined by two different approaches: 1. Cultivation of a semi-dwarf hybrid OSR variety, and 2. Survey of OSR volunteers between wide rows in OSR crops. Data analysis taking into account farmers' questionnaires revealed that the factor "variety selection" was not feasible for the prediction model. As an alternative approach to assess the impact of variety selection on volunteer abundance, the genotypic origin of volunteers was investigated by DNA fingerprints using ISSR (Inter Simple Sequence Repeat)-PCR. Molecular marker analysis confirmed that OSR volunteers were to a large extent identified correctly. In four of seven selected fields, plants could be assigned to open pollinating varieties cultivated previously. In two of these fields, a high dormancy (HD) variety was found to account for a large proportion of the volunteers. In contrast, low dormancy varieties appeared only rarely as volunteers. Hybrid varieties could never be identified, due to genetic segregation in the F<sub>2</sub> generation. Taken together, the results indicate that HD varieties substantially contribute to high OSR volunteer abundance in agricultural fields, although more data are needed to confirm this.

**Keywords:** *Brassica napus*, ISSR-PCR, secondary dormancy, seed persistence, volunteers, winter oilseed rape

### Zusammenfassung

Samenverluste entstehen bei Winterraps vor und während der Ernte. Die Samen können im Boden für Jahre überdauern und erscheinen oft als Durchwuchsrapen in Folgekulturen. Durchwuchsrapen gentechnisch veränderter Sorten kann die Produktqualität schmälern, wenn er in nachfolgend angebautem Raps mit verändertem Fettsäuremuster oder anderen speziellen Qualitätsmerkmalen auftritt.

Mehrere Faktoren können die Abundanz von Durchwuchsrapen beeinflussen. Wichtige Einflussfaktoren, die unter kontrollierten Bedingungen festgestellt wurden, sind die Stoppelbearbeitung nach der Rapsernte und die Rapsortenwahl auf Grund der genotypisch beeinflussten sekundären Dormanz.

In den Anbaujahren 2009/10 und 2010/11 wurde auf Rapsfeldern in Deutschland das Auftreten von Durchwuchsrapen untersucht. Hauptziel war es, Ergebnisse aus vorherigen Studien durch ein Prognosemodell für Durchwuchsrapen unter Praxisbedingungen zu bestätigen. Die Abundanz von Durchwuchsrapen wurde mit zwei Methoden ermittelt: 1. Aussaat einer Halbzweig-Hybridrapssorte, und 2. Erhebung von Durchwuchsrapen in Rapsfeldern mit großen Saatreihenabständen. In der statistischen Auswertung unter Einbeziehung der von den Landwirten erhaltenen Informationen erwies sich der Faktor „Rapsortenwahl“ jedoch auf Grund der Vielzahl der nacheinander angebauten Sorten als unbrauchbar. Alternativ wurde daher die Sortenherkunft von Durchwuchsrapenpflanzen mit Hilfe von genetischen Fingerabdrücken unter Verwendung der ISSR (Inter Simple Sequence Repeat)-PCR untersucht, um auf diese Weise eine Beziehung zwischen der Rapsortenwahl und der Abundanz von Durchwuchsrapen zu prüfen. Der Einsatz der molekularen Marker zeigte, dass die Durchwuchsrapenpflanzen bei der Felderhebung weitgehend korrekt erfasst wurden. Auf vier von sieben ausgewählten Feldern konnten die Pflanzen Liniensorten zugeordnet werden, die in den vorangegangenen Jahren angebaut worden waren. Auf zwei dieser Felder machte eine hoch dormante (HD) Liniensorte den

Großteil des Durchwuchses aus. Im Gegensatz trugen gering dormante Sorten kaum zum Raps-Durchwuchs bei. Hybridsorten konnten auf Grund der genetischen Aufspaltung in der F<sub>2</sub>-Generation in keinem Fall identifiziert werden. Zusammengefasst weisen die Ergebnisse darauf hin, dass HD-Sorten wesentlich zur Abundanz von Durchwuchsrap auf landwirtschaftlichen Flächen beitragen, auch wenn dies noch durch zusätzliche Daten bestätigt werden muss.

**Stichwörter:** *Brassica napus*, Durchwuchsrap, ISSR-PCR, Samenüberdauerung, sekundäre Dormanz, Winterraps

## 1. Introduction

In 2009, german farmers produced 6.3 million t rapeseed (10.6 % of world rapeseed production) on about 1.5 million ha arable land (4.8 % of world rapeseed acreage) (SCHAACK et al., 2010). This reflects the high productivity of OSR cultivation driven by the worldwide increasing demand for edible oil and biofuels.

OSR cultivation implicates agronomic issues linked to the long-term seed persistence in soils and oilseed rape volunteer emergence in subsequent crops. OSR seeds can become dormant when exposed to darkness and water stress often caused by deep burial through tillage, and may then persist in the soil for long times. OSRV emerging in another OSR crop may harm product quality. For instance, double-low quality volunteers can affect the fatty acid composition of special varieties (e.g. high oleic acid, low linolenic acid; CLARKE et al., 2011). In the case of herbicide resistant (genetically modified (GM) or non-GM) OSR, volunteer management may be more challenging in subsequent crops. BECKIE et al. (2006) reported enhanced farmers' awareness of volunteer problems 10 years after the introduction of herbicide resistant GM OSR in Canada. In the European Union, GM volunteers can cause exceeding of the labeling threshold (0.9 %) for GM admixtures in non-GM food and feed (MESSÉAN et al., 2007).

Previous studies revealed that land management impacts on OSRV abundances considerably. Significant factors are crop rotation (DEVOS et al., 2004), soil tillage (GRUBER et al., 2010) and variety selection (GRUBER et al., 2009; GULDEN et al., 2004; MOMOH et al., 2002). GRUBER et al. (2010) showed in field burial experiments that genotypic secondary dormancy variation resulted in a slower soil seed bank decline of a high-dormancy OSR variety compared to a low dormancy variety.

Therefore, an on-farm study was carried out to investigate the long-term factors for OSRV abundance. Field-specific data were surveyed including the OSR variety selection between harvest years 1997 and 2010 respectively 2011 in order to derive a prediction model on volunteer abundance. Preliminary data exploration revealed that OSR variety selection was elusive as a factor for statistical analysis due to the varying cropping histories of agricultural fields (THÖLE et al., 2011). Therefore an objective of our study was to assess the impact of OSR variety selection on volunteer abundance after having identified the genotypic origin of volunteers by DNA fingerprint analysis. In addition, the molecular analysis allowed a quality control of the survey methods by distinguishing OSRV from cultivated varieties.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Plant material

OSRV were surveyed on winter OSR fields in Northern and Eastern Germany. As a precondition, OSR had to be grown at least once between harvest years 1997 and 2009 respectively 2010. Interviews with farmers provided information about the potential genetic origin of OSRV in the experimental fields, i.e. about previously cultivated OSR varieties. Two methods were used to survey OSRV abundances: in spring 2010, distinctly longer plants were assigned to OSRV in fields sown with the semi-dwarf OSR hybrid variety "Avenir" in autumn 2009 (Tab. 1). Alternatively in one field, OSRV were counted in autumn 2010 between wide rows (row spacing of 0.5 m). Leaf samples were collected from plants identified as putative volunteers. Leaf material of field-specific reference OSR varieties was obtained from plants cultivated in a greenhouse. OSR cropping histories and the frequencies of OSR cultivation since 1997 of selected fields are shown in Table 1.

## **2.2 ISSR-PCR**

DNA was extracted from leaf samples using the NucleoSpin® Plant II extraction kit (Macherey-Nagel, Düren, Germany). 25 µl PCR reactions contained 25 mM MgCl<sub>2</sub>, 2.5 mM of each dNTP, 1 u GoTaq® DNA polymerase (Promega), 25 ng template DNA and 15 pmol ISSR-primer. Seven different 3' and 5' anchored degenerate ISSR-primers according to CHARTERS et al. (1996) were obtained from Eurofins MWG Operon (Ebersberg, Germany). PCR amplifications were carried out in a Biometra T1 thermocycler (Biometra biomedizinische Analytik GmbH, Goettingen, Germany). PCR products were separated by electrophoresis on 1.5 % agarose gels. Gels were stained in ethidium bromide solution and photographed under UV light.

## **2.3 Cluster analysis**

For cluster analysis, binary matrices reflecting the presence (1) and absence (0) of ISSR bands were generated. Bands were scored in the range of 300-2000 base pairs. Genetic distances were estimated by the Nei and Li coefficient (NEI and LI, 1979). The UPGMA method (unweighted pair group method with arithmetic mean) was used to draw dendrograms.

## **3. Results**

The seven ISSR primers used for the study generated 87 reproducible bands of which 48 bands were polymorphic. In initial ISSR-PCR tests, reference OSR varieties were found to be sufficiently distinguishable.

### **3.1 Identification of OSR volunteers**

Table 1 demonstrates that OSRV were mostly identified correctly in fields with the semi-dwarf variety. In fields B and C, 100 % of sampled plants proved to be true volunteers, i.e. did not cluster with the presently cultivated OSR variety. In contrast, in field F only 48 % of plants sampled were assigned to be volunteers. As a result of the molecular characterization, the volunteer abundance shown in Table 1 as median of OSRV per m<sup>2</sup> was corrected downwards for this field as well as for fields A, D and E. In field G, uniform and accurate seed placement at row distances of 0.5 m was provided by planters. In this field, 100 % of OSR plants between rows were identified as volunteers.

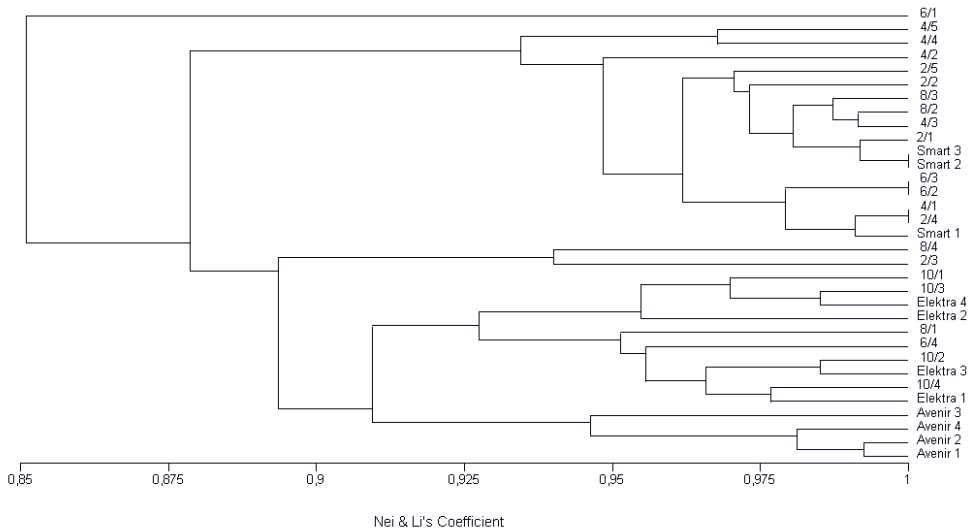
**Tab. 1** Identification of oilseed rape volunteers (OSRV) and volunteer assignment to winter OSR varieties.**Tab. 1** *Klassifizierung von Durchwuchsrapen und Zuordnung der Durchwuchspflanzen zu Winterrapsorten.*

Field	Winter OSR varieties grown in harvest years 1997-2011 <sup>1)</sup>	OSR frequency in the rotation (%)	OSRV per m <sup>2</sup> (median)	Plants correctly identified as OSRV (%) [number of plants sampled]	Volunteer assignment to OSR varieties (%) [number of plants]
A	2005: Smart (OP, h) 2010: Avenir (H, SD)	8	3.5	89.5 [19]	Smart: 73.7 [14]
B	2003: Smart (OP, h) 2007: Elektra (H, m) 2010: Avenir (H, SD)	15	4.5	100 [22]	Smart: 45.0 [10]
C	2002: Artus (H, m) 2007: NK Fair (OP, l) 2010: Avenir (H, SD)	15 (since 1999)	0.5	100 [9]	NK Fair: 33.3 [3]
D	2002: Talent (H, m) 2005: SW Calypso (H, *) 2007: SW Calypso (H, *) 2010: Avenir (H, SD)	38 (since 2002)	10.0	89.7 [29]	Not determined
E	2005: Titan (H, l) 2010: Avenir (H, SD)	8 (since 2000)	1.5	71.4 [7]	0
F	2002: Express (OP, l) 2006: NK Fair (OP, l) 2010: Avenir (H, SD)	15	1.0	48.0 [25]	0
G <sup>2)</sup>	1999: Mohican (OP, h) 2004: Maplus (OP, l) 2007: ES Astrid (OP, *) 2011: PR46W20 (H)	21	2.5	100 [23]	ES Astrid: 73.9 [17]

<sup>1)</sup> Dormancy potential due to GRUBER et al. (2009): \* unknown, l: low; m: medium; h: high; OP: open pollinator; H: hybrid; SD: semi-dwarf. <sup>2)</sup> Survey between wide rows (0.5 m).

### 3.2 Assignment of volunteers to OSR varieties

The results for the assignment of volunteers to previously cultivated varieties are field-specific. In four fields the genetic origin of volunteers could be reconstructed to a high degree. In fields A and B, the variety "Smart" with known high dormancy potential was identified predominantly (field A: 73.7 %, field B: 45.0 %). As Figure 1 shows exemplarily, 10 of 22 plants sampled from field B clustered very well with the reference samples of variety "Smart". In contrast, different plants of the hybrid variety "Elektra" showed only weak clustering, therefore hindering a reliable assignment of volunteers to this variety. In field G, 73.9 % of volunteers were assigned to "ES Astrid" with unknown dormancy potential. In field C, one third of the volunteers clustered with the recently grown low dormancy variety "NK Fair". ISSR-PCR analysis, however, revealed no identification of the genotypic origin of volunteers in fields E and F. In field D, OSR variety identification of volunteers was omitted because of the high OSR frequency and the cropping succession with different hybrid varieties (Talent, SW Calypso), which we assumed led to extensive hybridizations and genetic segregation of hybrid varieties in the F<sub>2</sub> generation.



**Fig. 1** Cluster analysis for winter OSR varieties and volunteers in field B (UPGMA). Individual volunteer plants are marked by double codes.

**Abb. 1** Clusteranalyse für Winterrapsorten und Durchwuchsrap auf Schlag B (UPGMA). Einzelne Durchwuchspflanzen sind durch Doppelcodes gekennzeichnet.

#### 4. Discussion

##### 4.1 Identification of OSR volunteers

The results demonstrate that in most cases OSR volunteers could be distinguished successfully from a semi-dwarf hybrid OSR crop. Nevertheless, this finding is not universally valid, as is obvious from field F, where longer OSR plants were erroneously identified as volunteers. This is possibly due to the fact that varieties can vary in plant height due to environmental conditions (KOCH and KREYE, 2007). Therefore, longer plants of the semi-dwarf variety may have been unintentionally identified as volunteers. Especially, when volunteer sampling was conducted at the beginning of flowering as was the case for field F, differentiation between the semi-dwarf variety and volunteer plants was more difficult than during earlier growth stages.

Alternatively, OSRV can be surveyed in autumn in artificial sowing gaps (SÖCHTING et al., 2008) or between wide rows (0.5 m row spacing). Sowing gaps are produced by lifting the coulters of a seed drill while passing the field. In sowing gaps, errors in volunteer detection are possible as well (THÖLE and DIETZ-PFEILSTETTER, unpublished), especially because of seed losses dropping into the gaps from seed coulters. Survey methods can also be combined, provided that OSR winter survival is close to 100 %. This is useful to spread the workload of surveyors and to maximize the sample size. In spring, surveys in sowing gaps are feasible until OSR stem extension. From the start of stem extension until the start of flowering, volunteers can be detected in OSR semi-dwarf crop stands.

Altogether, the volunteer survey in sowing gaps seems to be preferable because less effort for farmers is necessary compared to sowing of semi-dwarf varieties where seed admixture with other OSR types might be undesirable. The success of detecting OSRV between wide rows cannot be finally assessed. For instance, ANDERSEN et al. (2010) collected OSR plants between wide rows of organic OSR fields and by ISSR-PCR confirmed the volunteer origin of these plants for two of five fields only. While seed isolation with planters is adopted increasingly in agricultural OSR cultivation practice, the latter method is promising because no additional efforts are requested from farmers.

#### 4.2 Assignment of volunteers to OSR varieties

This study reveals that the assignment of volunteers to previously cultivated varieties was largely feasible on fields with low to medium OSR cropping frequency when open pollinating varieties had been grown. However, volunteers could never be assigned to hybrid varieties, most likely due to genetic segregation of hybrids in the F<sub>2</sub> generation. There was also one field (field F) where none of the volunteers could be allocated to previously grown open pollinating varieties. Similar drawbacks were also observed by JØRGENSEN et al. (2007) who suggested external sources like seed impurities or seed spillage as possible origins of non-identifiable plants.

In two of the fields, open pollinating varieties with high dormancy potential were found in very high proportions, contributing substantially to high volunteer abundance. A small number of low dormancy volunteers were identified in one field, originating from the most recently cultivated variety. A predominance of high dormancy varieties among volunteers is confirmed in another study where OSRV were counted in sowing gaps (THÖLE and DIETZ-PFEILSTETTER, unpublished).

No simple correlation, however, could be derived between volunteer abundance and the dormancy potentials of previously cultivated varieties – in contrast to findings in a study under controlled conditions (GRUBER et al., 2010). Under on-farm conditions, the impact of OSR genotype selection may be confounded by unrecognized and/or multiple interactions with other factors. Environment and land management practices are known to influence volunteer abundances. GRUBER et al. (2010) state that timing of first post-harvest tillage after OSR is very important. Under dry soil conditions, OSR seed incorporation into the soil is linked to second dormancy induction (LUTMAN et al., 2003). THÖLE et al. (2011) derived from a regression tree analysis that volunteer abundance under on-farm conditions is mainly attributable to locations and OSR cropping frequencies. WEBER et al. (2011) explain location effects by the soil texture, which was also suggested by LUTMAN et al. (2005).

#### Acknowledgements

We are grateful to the seed company Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG for providing Avenir oilseed rape seeds. We also want to thank Nele Prüfer for excellent technical assistance. This work was supported by the German Ministry of Education and Research (BMBF).

#### References

- ANDERSEN, N.S., J. RASMUSSEN AND R.B. JØRGENSEN, 2010: YOU REAP WHAT YOU SOW – OR DO YOU? – VOLUNTEERS IN ORGANIC ROW-SOWN AND BROADCAST-SOWN OILSEED RAPE FIELDS. EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY **32**, 121-126.
- BECKIE, H.J., K.N. HARKER, S.M. HALL, S.I. WARWICK, A. LÉGÈRE, P.H. SIKKEMA, G.W. CLAYTON, A.G. THOMAS, J.Y. LEESON, G. SÉGUIN-SWARTZ AND M.J. SIMARD, 2006: A DECADE OF HERBICIDE-RESISTANT CROPS IN CANADA. CANADIAN JOURNAL OF PLANT SCIENCE **86**, 1243–1264.
- CHARTERS, Y.M., A. ROBERTSON, M.J. WILKINSON AND G. RAMSAY, 1996: PCR ANALYSIS OF OILSEED RAPE CULTIVARS (*BRASSICA NAPUS* L. SSP. *OLEIFERA*) USING 5'-ANCHORED SIMPLE SEQUENCE REPEAT (SSR) PRIMERS. THEORETICAL AND APPLIED GENETICS **92**, 442-447.
- CLARKE, M., D. LEAPER, AND S. MELLOUL, 2011: HIGH OLEIC / LOW LINOLENIC WINTER OILSEED RAPE VARIETIES – THE FIRST FIVE YEARS OF UK CULTIVATION. PROCEEDINGS OF THE 13<sup>TH</sup> INTERNATIONAL RAPESEED CONGRESS, 5-9 JUNE 2011, PRAGUE, CZECH REPUBLIC, PP. 4 (AVAILABLE ON CD-ROM).
- DEVOS, Y., D. REHEUL, A. DE SCHRIJVER, F. CORS AND W. MOENS, 2004: MANAGEMENT OF HERBICIDE-TOLERANT OILSEED RAPE IN EUROPE: A CASE STUDY ON MINIMIZING VERTICAL GENE FLOW. ENVIRONMENTAL BIOSAFETY RESEARCH **3**, 135-148.
- GRUBER, S., K. EMRICH AND W. CLAUPEIN, 2009: CLASSIFICATION OF CANOLA (*BRASSICA NAPUS*) WINTER CULTIVARS BY SECONDARY DORMANCY. CANADIAN JOURNAL OF PLANT SCIENCE **89**, 613-619.
- GRUBER, S., A. BUEHLER, J. MÖHRING AND W. CLAUPEIN, 2010: SLEEPERS IN THE SOIL – VERTICAL DISTRIBUTION BY TILLAGE AND LONG-TERM SURVIVAL OF RAPE SEEDS COMPARED WITH PLASTIC PELLETS. EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY **33**, 81-88.
- GULDEN, R.H., A.G. THOMAS AND S.J. SHIRTLIFFE, 2004: RELATIVE CONTRIBUTION OF GENOTYPE, SEED SIZE AND ENVIRONMENT TO SECONDARY SEED DORMANCY POTENTIAL IN CANADIAN SPRING OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*). WEED RESEARCH **44**, 97-106.
- JØRGENSEN, T., T.P. HAUSER AND R.B. JØRGENSEN, 2007: ADVENTITIOUS PRESENCE OF OTHER VARIETIES IN OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*) FROM SEED BANKS AND CERTIFIED SEEDS. SEED SCIENCE RESEARCH **17**, 115-125.



- KOCH S. AND KREYE H., 2007: WELCHE AUSWIRKUNGEN HAT DER ANBAU VON WINTERRAPS-HALBZWERG-HYBRIDEN AUF DEN PFLANZENSCHUTZ? MITTEILUNGEN AUS DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT **410**, 44-48.
- LUTMAN, P.J.W., S.E. FREEMAN AND C. PEKRUN, 2003: THE LONG-TERM PERSISTENCE OF SEEDS OF OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*) IN ARABLE FIELDS. JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE **141**, 231-240.
- LUTMAN, P.J.W., K. BERRY, R.W. PAYNE, E. SIMPSON, J.B. SWEET, G.T. CHAMPION, M.J. MAY, P. WIGHTMAN, K. WALKER AND M. LAINSBURY, 2005: PERSISTENCE OF SEEDS FROM CROPS OF CONVENTIONAL AND HERBICIDE TOLERANT OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS*). PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B **272**, 1909-1915.
- MESSÉAN, A., C. SAUSSE, J. GASQUEZ AND H. DARMENCY, 2007: OCCURRENCE OF GENETICALLY MODIFIED OILSEED RAPE SEEDS OF SUBSEQUENT CONVENTIONAL OILSEED RAPE OVER TIME. EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY **27**, 115-122.
- MOMOH, E.J.J., W.J. ZHOU AND B. KRISTIANSSON, 2002: VARIATION IN THE DEVELOPMENT OF SECONDARY DORMANCY IN OILSEED RAPE GENOTYPES UNDER CONDITIONS OF STRESS. WEED RESEARCH **42**, 446-455.
- NEI, M. AND W.H. LI, 1979: MATHEMATICAL MODEL FOR STUDYING GENETIC VARIATION IN TERMS OF RESTRICTION ENDONUCLEASIS. PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE USA **76**, 5269-5273.
- SCHAACK, D., W. VON SCHENCK AND M. SCHRAA, 2010: AMI-MARKTBILANZ GETREIDE – ÖLSAATEN – FUTTERMITTEL 2010. AGRARMARKT INFORMATIONS-GMBH, BONN, GERMANY.
- SÖCHTING, H.P., A. GUMMERT AND P. ZWERGER, 2008: TEMPORAL EMERGENCE AND GROWTH PROCESSES OF OILSEED RAPE VOLUNTEERS IN CULTIVATED OSR (AUFLAUFDYNAMIK UND WACHSTUMSVERLAUF VON AUSFALLRAPPS IN WINTERRAPSBESTÄNDEN). JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 303-308.
- THÖLE, H., A. DIETZ-PFEILSTETTER AND A. HÜSKEN, 2011: STATISTICAL APPROACH TO PREDICT ABUNDANCES OF OILSEED RAPE VOLUNTEERS. PROCEEDINGS OF THE 13<sup>TH</sup> INTERNATIONAL RAPESEED CONGRESS, 5-9 JUNE 2011, PRAGUE, CZECH REPUBLIC, 312-314 (AVAILABLE ON CD-ROM).
- WEBER, E.A., K. FRICK, F. STOCKMANN, S. GRUBER AND W. CLAUPEIN, 2011: SEED PERSISTENCE OF NOVEL-TRAIT OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS* L.) GENOTYPES IN DIFFERENT SOILS. PROCEEDINGS OF THE 13<sup>TH</sup> INTERNATIONAL RAPESEED CONGRESS, 5-9 JUNE 2011, PRAGUE, CZECH REPUBLIC, 299-303 (AVAILABLE ON CD-ROM).



## Hazardous doses of the herbicide imazamox in wild plant species and oilseed rape cultivars

*Schädliche Dosen des Herbizids Imazamox bei verschiedenen Wildpflanzenarten und Rapssorten*

Jürgen Franzaring\*, Zorica Kauf, Ingo Holz, Sebastian Weller & Andreas Fangmeier

Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie, August von Hartmann Str. 3, 70599 Stuttgart, Germany

\*Corresponding author, Juergen.Franzaring@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.045

### Summary

Imidazolinones and crops resistant to these herbicides have successfully been introduced recently in some European countries. Imazamox has a high efficacy, moderate persistence and ecotoxicity, but data on hazardous doses (HD) in non-target plants and species sensitivity distributions (SSDs) are still scarce. To screen a larger variety of plant taxa in standardized vegetative vigor tests, 22 wild plant species and 14 oilseed rape (OSR) cultivars were sown into trays filled with a standard soil. When seedlings had reached the three-to-four leaf stage, plants were exposed to a single application of the herbicide Bolero® using a commercial pump sprayer. The five treatments corresponded to rates of 0 (control), 0.4, 4, 20 and 40 g/ha of imazamox with latter representing the recommended dose in Switzerland. Two weeks after the application, five plants per treatment were sub-sampled at random and visible injuries and fresh weights were recorded as endpoints for herbicidal effects. Dose-response curves and effective doses (EDs) were fitted using the drc package of the statistical software R and SSDs were obtained using ETX2.0. ED<sub>50</sub> varied between 0.006 and 37 g/ha of the active ingredient in *Nigella arvensis* and *Brassica rapa*. Several dose-response curves indicated hormetic effects at a hundredth of the recommended field dose. In OSR, exposure to the field rate (40 g/ha) resulted in growth reductions between 28 and 97 % in the non imazamox-tolerant cultivars and in growth stimulations of up to 20 % in imazamox-tolerant cultivars. Responses were unrelated to leaf thickness, growth rates and the taxonomy of the tested species. Hazardous doses were 0.32 g/ha for HD<sub>5</sub> and 3.9 g/ha for HD<sub>50</sub> indicating that 50 % of the non-target plants would be affected at a tenth of the recommended dose. Based on general herbicide drift values the results suggest that potentially adverse effects may be expected up to a distance of 4 m offsite.

**Keywords:** Clearfield, non-target plants, plant growth tests, plant functional types

### Zusammenfassung

Imidazolinone und gegen diese Herbizide resistente Sorten einiger Kulturarten wurden in den letzten Jahren in einigen Europäischen Ländern erfolgreich eingeführt. Imazamox hat eine hohe Wirksamkeit, moderate Persistenz und Ökotoxizität, aber es gibt bislang nur wenige Informationen zu Schaddosen (hazardous doses, HD) in Nichtzielpflanzen und Art-Sensitivitäts-Spektren (species sensitivity distributions, SSDs). Um eine größere Anzahl von Pflanzenarten in standardisierten Wachstumstests zu überprüfen, wurden 22 Wildpflanzenarten und 14 Rapssorten in mit Standardboden gefüllten Schalen ausgesät. Bei Erreichung des Drei- bis Vierblattstadiums wurden die Pflanzen einmal mittels Pumpsprüher mit dem Herbizid Bolero® behandelt. Die fünf eingesetzten Behandlungen entsprachen den Dosen 0 (Kontrolle), 0,4, 4, 20 und 40 g AS/ha, wobei die letztere in der Schweiz die empfohlene Aufwandmenge darstellte. Zwei Wochen nach der Applikation wurden fünf Pflanzen pro Behandlung nach dem Zufallsprinzip geerntet, wobei sichtbare Schäden und Frischgewichte als Wirkkriterien betrachtet wurden. Dosis-Wirkungs-Kurven und effektive Dosen (EDs) wurden mit Hilfe des drc-Paketes mit der Statistik-Software R berechnet und SSDs wurden mittels ETX2.0 abgeleitet. Die ED<sub>50</sub>-Werte schwankten zwischen 0.006 und 37 g/ha der aktiven Substanz in *Nigella arvensis* und *Brassica rapa*. Viele der Dosis-Wirkungs-Beziehungen deuteten hormetische Effekte bei einem Hundertstel der empfohlenen Aufwandmenge an. Bei den nicht Imazamox-toleranten Rapssorten wurden bei der empfohlenen Aufwandmenge (40 g/ha) Wachstumsreduktionen zwischen 28 und 97 % beobachtet, während in den Imazamox-toleranten Sorten Wachstumsstimulationen von bis zu 20 % auftraten. Die beobachteten Effekte standen in keinem Zusammenhang mit der Blattdichte, den Wachstumsraten und der Taxonomie der überprüften Pflanzenarten. Die ermittelten Schaddosen betragen 0.32 g/ha für HD<sub>5</sub> und 3.9 g/ha für HD<sub>50</sub>, was darauf hindeutet, dass 50 % der Nichtzielarten bei einem Zehntel der empfohlenen Aufwandmenge beeinträchtigt würden. Wenn man die Abdrifteckwerte für Herbizidanwendungen zu Grunde legt, wären potenziell nachteilige Effekte bis zu einer Entfernung von 4 m zum Feldrand zu erwarten.

**Stichwörter:** Clearfield, funktionelle Pflanzentypen, Nichtzielpflanzen, Pflanzenwachstumstests

## 1. Introduction

Since the 1990s, non-transgenic imidazolinone (IMI) tolerant oilseed rape, wheat, sunflower and lentil cultivars have been introduced in America and Australia, and it may well be that such varieties will be placed on the market elsewhere, too (TAN et al., 2005). While one of the complementary herbicides, imazamox, has already been registered in Annex I as a novel plant protection product in the EU (EC 2002a, 2003), the Clearfield® production system will be introduced in European countries in the near future (SCHÖNHAMMER et al., 2010).

Generally, the recommended field application rate of the post-emergence herbicide imazamox is only 40 g/ha, while it is much higher for older compounds. Due to its high efficacy, its moderate persistence and its low ecotoxicity, the chemical is thus regarded as a promising new plant protection product to reduce the weed pressure in various crops. Environmental risk assessment reports on imazamox have been presented by NRA (2000) and SERA (2010). Because of its presumably low environmental concentrations its use has been authorized e.g. in Florida to control invasive aquatic plants in non-agricultural areas (WERSAL and MADSEN, 2007), but non-target aquatic or emergent plants may also be affected (KOSCHNIK et al., 2007). Furthermore, DEEDS et al. (2006) showed strong leaf injury and highly significant growth reductions in off-target wheat at one tenth of the recommended use rate (in their study 35 g a.i. per hectare). In rice, HENSLEY (2009) found adverse effects of the herbicide at even lower doses. While in latter study, effects were larger at later growth stages and caused reduced viability of the harvested seeds, DEEDS et al. (2006) found slightly stronger effects in earlier growth stages but no effects on germination rates of harvested seeds. Both studies, however, contradict the opinion of NRA (2000) that non-target plants will not show phytotoxic responses at 10 % of the recommended field dose. Furthermore, there is some new concern that the incomplete degradation of imazamox in soils may cause phytotoxic effects in follow-up cultures (PANNACCI et al., 2006).

Wild plant species are regarded not to be more or less sensitive than crops (CLARK et al., 2004; CARPENTER and BOUTIN, 2010), but OLSZYK et al. (2008) found evidence for a much higher variability in sensitivity in non-target species than in crops. To date, there is no published information available from both, field and greenhouse experiments on the effects of spray drift and low doses of imazamox on non-target wild plant species. However, species specific differences in sensitivity and the importance of growth stage have been tested in 24 weed species using the imidazolinone herbicide imazethapyr (KLINGMAN et al., 1992). Greenhouse or climate chamber studies using different concentrations of herbicide spray solutions and different plant species are a first valuable indication on potential sub-lethal herbicidal effects on the growth of non-target plants which cannot easily be recognized in field experiments (RIEMENS et al., 2008). During the authorization of plant protection products, such tests are the first step in the risk assessment (tier 1) to generate toxicity-to-exposure ratios (TERs), while there is currently no consensus on how to perform higher-tier tests under field conditions (HEIMBACH, 2007; MONTFORTS and DE JONG, 2007). Generally, the choice of test species and end-points must be representative for the evaluation of risks to non-target plants. Most ecotoxicological studies use fresh or dry weights, i.e. growth after the exposure as an endpoint but long-term studies addressing plant recovery and seed output may yield lower or higher sensitivity of plants to herbicides (CARPENTER and BOUTIN, 2010). For statistical reasons, i.e. to exclude non-randomness of the choice of taxa, it matters how many and which species are tested in such experiments. Furthermore, the ecological importance and rareness of plant taxa or ecological functions of wild non-target plants should be accounted for in pesticide regulatory guidelines and ecotoxicological tests. While EPPO (2003) and OECD (2006) recommend six out of a list of suited species, the US EPA suggests the use of ten different species. If the aim of such studies is to derive species sensitivity distributions (SSDs) and hazardous doses (HD<sub>5</sub>) to protect 95 % of the non-target species, many more species, especially more broad leaved than grass species and ecologically important wild plants would have to be tested (BOUTIN and ROGERS, 2000; WHITE and BOUTIN, 2007). In these tests, species from many different plant families should be considered because closely related

species, e.g. from the same genus, often show a very similar response (CLARK et al., 2004).

Objectives of the study were to screen different plant species and crop cultivars in standardised growth tests for the phytotoxicity of imazamox and to derive effective doses (EDs). In addition, we used a number of spring and winter oilseed rape (OSR) cultivars to see whether there are differences in the sensitivity within the same crop species. In addition to the controls receiving no herbicide treatment and a treatment simulating the recommended field application rate, two IMI-tolerant OSR cultivars were included in the experiment. These cultivars were used as an internal standard to which the observed growth responses could be related to within and between individual experiments. We also intended to derive a sensitivity ranking of the different OSR cultivars, which may hint to potential damage created by imazamox drift from herbicide resistant OSR fields to neighboring intolerant OSR cultures. Moreover, rare arable weeds including some red list taxa, were used to address the effects of low doses of imazamox on non-target plants. We used seed material from Germany and assumed that none of the tested seed origins was resistant to ALS-inhibiting herbicides. By combining effective doses for a number of wild species after the method of VAN VLAARDINGEN et al. (2004), we aimed to derive a species sensitivity distribution (SSD) and values for hazardous doses (HD<sub>5</sub>) that would significantly affect 5 % of the tested species. This is a widely accepted method to describe the ecotoxicological risk of pollutants on plant populations and non-target plants also performed in higher-tier tests. The screening of a larger variety of rare and more uncommon arable species may also hint to taxonomic differences in the efficacy of imazamox and helps to explain whether plant functional traits (e.g. specific leaf area, SLA, and relative growth rate, RGR) are related to the phytotoxicity of the herbicide.

## **2. Materials and methods**

### **2.1 Plant growth tests**

In order to study the effect of different doses of imazamox applied above-ground as a post-emergence herbicide, plants of twelve non-resistant OSR cultivars and 22 wild plant species (Tab. 1) were grown in trays in a greenhouse. The herbicide screening with seedlings was based on OECD (2006) and EPPO (2003). Because we intended to screen a large number of cultivars and species and due to the lack of greenhouse space we did not use individual pots with single plants in these experiments. Instead, six rows with 30 seeds per row for each cultivar (one row = one cultivar) were sown in plastic trays (40 \* 60 cm). A few days after germination, plants were thinned to 10 plants per row to leave enough space between individual plants and rows. Five trays with the same OSR cultivars or plant species (six rows) were used for the five concentrations (application rates) of the imazamox herbicide. The standard soil used in the experiments was a LD80 Fruhstorfer Erde® (Hawita GmbH, Germany), which contains a defined amount of slow release fertilizers. During the four experimental runs over a time period of five months, daily temperatures varied between 20 and 30 °C, while night temperatures were set to 15 °C. Temperature and relative humidity were recorded during the experiments. To prevent bias and to avoid placement effects, test and control trays were randomly rearranged every three to five days. Plants were watered on demand using a multifunctional sprayer.

Seven to ten days after germination plants had achieved the three to four leaf stage. At this time, ten seedlings per species were harvested at random (two from each of the five trays) and fresh weights were determined to have a mean reference fresh weight (start weight). At the same day, the herbicide Bolero® (BASF) was supplied with a Gardena® spray flask yielding 0.5 mL on average per lift. Ten lifts of solutions with different herbicide concentrations (0, 0.05, 0.5, 2.5 and 5 ml/L equaling to 0, 0.002, 0.02, 0.1 and 0.2 ml/L a.i.) were sprayed per tray. The five spray applications were calculated to correspond to application rates of 0 (control), 0.4, 4, 20 and 40 g/ha a.i. Latter application rate is the recommended dose for field sprayings in Switzerland. After spraying, the occurrence of visible symptoms was noted on a two to three day routine. 14 days after the treatment, shoot masses of five randomly selected plants from each of the five treatments were harvested and fresh weights of individual plants were determined as the relevant end point. By subtracting the start weight (day 0) from the end weight, absolute growth rate (AGR) could be determined. Furthermore, relative growth

rates (RGR) were determined by subtracting the logarithm of the start weight from the logarithm of the end weight and dividing this value by 14 (duration in days of the experiment). Furthermore, leaves from the control plants were randomly sampled and their leaf area and dry weights were determined to calculate specific leaf area (SLA).

**Tab. 1** Overview of the taxonomy, conservation status, specific leaf area (SLA), relative (RGR) and absolute growth rates (AGR) of 22 wild plant species used in the phytotoxicity screening. Effective doses refer to the doses of imazamox creating a growth reduction of 5 (ED<sub>5</sub>) and 50 % (ED<sub>50</sub>). "1m" in the column on conservation status refers to data from www.floraweb.de with "+" not endangered, "3" endangered, "2" severely endangered, "1" nearly extinct and "0" extinct. "nd" refers to not determined.

**Tab. 1** Übersicht über die Taxonomie, den Schutzstatus, die spezifischen Blattflächen (SLA), relativen (RGR) und absoluten (AGR) Wachstumsraten der 22 in der Phytotoxizitätsstudie untersuchten Wildpflanzenarten. Effektive Dosen beziehen sich auf die Imazamoxraten, welche eine Wuchsminderung von 5 (ED<sub>5</sub>) bzw. 50 % (ED<sub>50</sub>) hervorriefen. „1m“ in der Spalte zum Schutzstatus bezieht sich auf Angaben von www.floraweb.de mit „+“ nicht gefährdet, „3“ gefährdet, „2“ stark gefährdet, „1“ fast ausgestorben, und „0“ ausgestorben. „nd“ bedeutet nicht erfasst.

Scientific name	EPPO	Plant Family	Conser- vation Status <sup>1</sup>	SLA	RGR	AGR	Effective doses	
	Codes			cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> d.m.	g g <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> f.m.	g 14d <sup>-1</sup> f.m.	g ha <sup>-1</sup> imazamox ED <sub>5</sub>	ED <sub>50</sub>
<i>Agrostemma githago</i>	AGOGI	Caryophyllaceae	1	378	0,119	1,13	0,005	7,64
<i>Anagallis foemina</i>	ANGCO	Primulaceae	+	437	0,162	0,13	1,48	2,5
<i>Anchusa arvensis</i>	LYCAR	Boraginaceae	+	327	0,103	0,54	0,907	1,47
<i>Anthemis arvensis</i>	ANTAR	Asteraceae	+	350	0,164	0,11	10,77	14,6
<i>Brassica juncea</i>	BRSJU	Brassicaceae		470	0,138	0,25	4,9	17,9
<i>Brassica nigra</i>	BRSNI	Brassicaceae		395	0,022	0,05	2,11	25,06
<i>Brassica rapa</i>	BRSRR	Brassicaceae		309	0,161	3,38	0,02	37
<i>Camelina alyssum</i>	CMAAL	Brassicaceae	0	466	0,108	0,28	1,5	3,7
<i>Camelina sativa</i>	CMAASA	Brassicaceae	+	510	0,086	0,25	1,56	3,22
<i>Centaurea cyanus</i>	CENCY	Asteraceae	+	399	0,142	0,19	1,8	3,52
<i>Euphorbia exigua</i>	EPHEX	Euphorbiaceae	+	325	0,099	0,03	2,27	4,75
<i>Filago arvensis</i>	FILAR	Asteraceae	3	275	0,149	0,07	0,22	0,68
<i>Hirschfeldia incana</i>	HISIN	Brassicaceae		347	0,188	0,15	1,8	3,07
<i>Legousia spec.-veneris</i>	LEGSV	Campanulaceae	3	244	0,028	0,03	2,88	3,48
<i>Mercurialis annua</i>	MERAN	Euphorbiaceae	+	301	0,123	0,28	1,49	1,84
<i>Nigella arvensis</i>	NIGAR	Ranunculaceae	2	471	0,106	0,03	0,0009	0,068
<i>Papaver argemone</i>	PAPAR	Papaveraceae	+	362	0,103	0,03	10,3	15,8
<i>Sherardia arvensis</i>	SHRAR	Rubiaceae	+	367	0,153	0,21	3,56	5,51
<i>Silene linicola</i>	SILLI	Caryophyllaceae	0	505	0,134	0,39	1,009	3,93
<i>Silene noctiflora</i>	MELNO	Caryophyllaceae	+	596	0,187	0,23	0,342	23,04
<i>Sinapis arvensis</i>	SINAR	Brassicaceae		345	0,165	1,51	0,015	0,233
<i>Spergularia rubra</i>	SPBRU	Caryophyllaceae	+	316	nd	nd	2,51	5,48

## 2.2 Data analyses

Because we did not have enough greenhouse space to screen a large number of different plant species in single pots, we used trays in which rows of different plant species were sown. Seedlings had enough space to grow, but we are aware of the problems related to the sampling of five individuals grown in the same experimental unit. However, the lack of true replicates (for statistical problems of sub-sampling and pseudoreplication refer to ONOFRI et al. (2010) in these initial trials may be tolerable as the intention was to perform a multi-species test. After entering the data into Excel worksheets, descriptive statistical analyses were performed. Growth of the plants subjected to the different treatments was related to the growth of plants from the control. In order to derive effective doses (EDs) and to visualize dose-response curves the biomass data were analyzed with the 'drc' package (Version 1.9-3) using the R-software. Log-logistic models were fitted and ED values for

growth reductions of 5, 10, 50 and 90 % were calculated for each cultivar and species according to RITZ and STREIBIG (2005, 2010). Furthermore, species sensitivity distributions (SSD's) and hazardous concentrations (HC's) that adversely affect 5 and 50 % of the tested species were visualized and calculated according to the methodology specified by van Vlaardingen et al. (2004). To do so, ED<sub>50</sub> values of all species were entered into the program ETX 2.0.

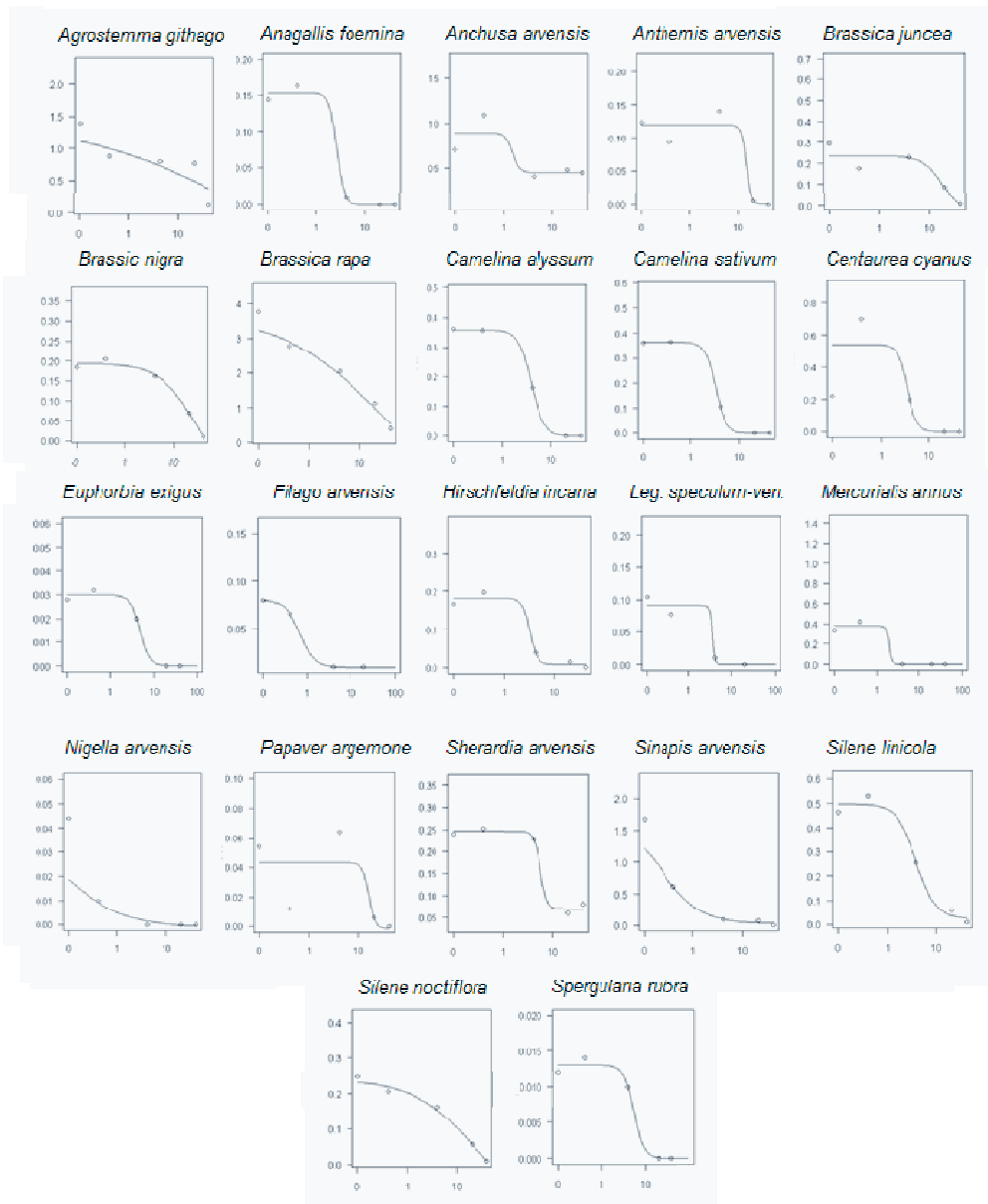
### 3. Results and Discussion

While all of the chosen OSR cultivars germinated readily, only 22 out of the 40 wild species selected initially achieved germination rates of over 50 %. We are not sure whether seed pre-treatment would have lead to higher germination rates, but the results indicate that most of the chosen rare arable weeds can be used in phytotoxicity tests. Also WHITE et al. (2009) found that germination requirements for terrestrial and wetland non-crop species are normally met in greenhouse or chamber trials, so that a large variety of wild plant species may well be included in regulatory testing.

Foliar symptoms looked similar in OSR cultivars and the tested wild plant species. Two to three days after the spraying, first visible effects, yellowing and leaf crinkling, occurred in the youngest leaves, while the two oldest leaves were still growing. Lowest effects were observed in the two imazamox-tolerant cultivars while growth reductions exceeded 55 % on average (28-97 %) in the twelve tested non-tolerant OSR cultivars. In contrast, both growth stimulations and reductions were observed in the imazamox-tolerant cultivars when sprayed with the recommended field dose. It is unclear, however, whether the modified AHAS gene that confers the tolerance to imazamox is expressed effectively and at the same rate under different environmental conditions. As has been reported by TAN et al. (2005) highest tolerance to imazamox will occur in OSR when both of the two original mutations are stacked within the genome, but we have no information on the genetic status of the tested cultivars. Even when no complete tolerance to imazamox is conferred, imazamox-tolerant plants will recover from the herbicide while non-tolerant cultivars will sooner or later die. Figure 1 shows dose response relationships for growth reductions in 22 wild plant species and Table 1 lists the calculated effective doses ED<sub>50</sub> and ED<sub>5</sub> of imazamox that will reduce growth by 50 and 5 %, respectively.

Most of the curves revealed a sigmoidal shape and lack-of-fit tests were highly insignificant in most cases, indicating that the regression models were acceptable. Still, lack-of-fit tests were significant ( $p < 0.05$ ) for the results obtained with *Anchusa arvensis*, *Centaurea cyanus* and *Silene linicola*. Interestingly, in almost half (10 out of 22) of the tested species the lowest dose of 0.4 g a.i. per ha, i.e. a hundredth of the recommended dose, created a slight growth stimulation relative to the control. We suggest that these hormetic effects might be related to adaptive responses which have also been reported for other herbicides (e.g. glyphosate), (CEDERGREEN, 2008). Although such positive biological effects are not much understood, ecotoxicological concepts may have to be adapted in the future (CALABRESE, 2005). In the next step, a species sensitivity distribution (SSD) was constructed using the ED<sub>50</sub> values derived for the 22 tested wild plant species and the ETX 2.0 software. Hazardous doses were calculated to be 0.32 g/ha for HD5 and 3.9 g/ha for HD50. Latter finding indicates that 50 % of the non-target wild plant species would be affected at a tenth of the recommended field dose. Taking into account the general herbicide drift values given in EC (2002b) the results from present study suggest that up to a distance of 4 m from sprayed fields the non-target vegetation would adversely be affected.

Finally, the growth reductions observed in the imazamox spraying experiments were also related to the different growth characteristics of the tested species. While the responsiveness of plant species was unrelated to their taxonomy, specific leaf areas (SLA, i.e. leaf thickness, Tab. 1) and relative growth rates (RGR) a slight negative relationship ( $R^2 = 0.23$ ) was observed between ED<sub>5</sub> and the absolute growth. It appears that "internal doses" of the herbicide were greater in plants with higher metabolic activity, while the uptake and herbicide efficacy was lower in plants producing less biomass. While BOUTIN et al. (2004) recommend including growth rates of species as an important criterion for the choice of test species, our results indicate that absolute growth may affect the responsiveness of seedlings in the early life stage.



**Fig. 1** Dose-response relationships for the reduction of fresh weights (g fresh matter, y-axes) by the herbicide imazamox (dose in g/ha, x-axes) in 22 wild plant species. Log-logistic curves were fitted with the drc package, refer to RITZ and STREIBIG (2010). For effective doses that were derived from the non-linear regressions refer to Table 1.

**Abb. 1** Dosis-Wirkungs-Beziehungen für die Reduktion der Frischgewichte (g Frischsubstanz, y-Achse) durch das Herbizid Imazamox (Dosis in g/ha, x-Achse) bei 22 Wildpflanzenarten. Die log-logistischen Kurven wurden mit dem drc Paket angepasst, siehe RITZ and STREIBIG (2010). Die effektiven Dosen, welche mittels nicht-linearer Regressionen abgeleitet wurden, sind in Tabelle 1 enthalten.



## Acknowledgements

The experiments were supported by a grant from the Geschwister Stauder Stiftung (Stuttgart). Various commercial seed suppliers and Prof. Dr. Zwerger and Dr. Hans-Peter Söchting of the Julius Kühn-Institut (JKI), Institute for Plant Protection in Field Crops and Grassland (Braunschweig) are thanked for providing seed material of OSR cultivars and wild plant species.

## References

- BOUTIN, C. AND C.A. ROGERS, 2000: PATTERN OF SENSITIVITY OF PLANT SPECIES TO VARIOUS HERBICIDES – AN ANALYSIS WITH TWO DATABASES. *ECOTOXICOLOGY* **9**, 255-271.
- BOUTIN, C., N. ELMEGAARD AND C. KJAER, 2004: TOXICITY TESTING OF FIFTEEN NON-CROP PLANT SPECIES WITH SIX HERBICIDES IN A GREENHOUSE EXPERIMENT: IMPLICATIONS FOR RISK ASSESSMENT. *ECOTOXICOLOGY* **13**, 349-369.
- CALABRESE, E.J., 2005: PARADIGM LOST, PARADIGM FOUND: THE RE-EMERGENCE OF HORMESIS AS A FUNDAMENTAL DOSE RESPONSE MODEL IN THE TOXICOLOGICAL SCIENCES: ENVIRONMENTAL POLLUTION **138**, 379-412.
- CARPENTER, D. AND C. BOUTIN, 2010: SUBLETHAL EFFECTS OF THE HERBICIDE GLUFOSINATE AMMONIUM ON CROPS AND WILD PLANTS: SHORT-TERM EFFECTS COMPARED TO VEGETATIVE RECOVERY AND PLANT REPRODUCTION. *ECOTOXICOLOGY* **19**, 1322-1336.
- CEDERGREEN, N., 2008: HERBICIDES CAN STIMULATE PLANT GROWTH. *WEED RESEARCH* **48**, 429-438.
- CLARK, J., L.S. ORTEGO AND A. FAIRBROTHER, 2004: SOURCES OF VARIABILITY IN PLANT TOXICITY TESTING. *CHEMOSPHERE* **57**, 1599-1612.
- DEEDS, Z., K. AL-KHATIB, D.E. PETERSON AND P.W. STAHLMAN, 2006: WHEAT RESPONSE TO SIMULATED DRIFT OF GLYPHOSATE AND IMAZAMOX APPLIED AT TWO GROWTH STAGES. *WEED TECHNOLOGY* **20**, 23-31.
- EC, 2002A: IMAZAMOX. SANCO/4325/2000 –FINAL, 29 NOVEMBER 2002.
- EC, 2002B: GUIDANCE DOCUMENT ON TERRESTRIAL ECOTOXICOLOGY UNDER COUNCIL DIRECTIVE 91/414/EEC. SANCO/10329/2002 REV 2 FINAL, 39 PP.
- EC, 2003: COMMISSION DIRECTIVE 2003/23/EC OF 25 MARCH 2003 AMENDING COUNCIL DIRECTIVE 91/414/EEC TO INCLUDE IMAZAMOX, OXASULFURON, ETHOXSULFURON, FORAMSULFURON, OXADIARGYL AND CYAZOFAMID AS ACTIVE SUBSTANCES, OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION L 81/39, 4 PP.
- EPPO, 2003: EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION, 2003. ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT SCHEME FOR PLANT PROTECTION PRODUCTS. CHAPTER 12, NON-TARGET TERRESTRIAL HIGHER PLANTS. EPPO STANDARDS, BULLETIN 33, PARIS, FRANCE. 239-244.
- HEIMBACH, F., 2007: ENTWICKLUNG DER ÖKOTOXIKOLOGIE VON PFLANZENSCHUTZMITTELN IN DEN LETZTEN 25 JAHREN: VON ERSTEN DISKUSSIONEN ÜBER PRÜFORGANISMEN ZUR PROBABILISTISCHEN RISIKOANALYSE. *UWSF – Z. UMWELT-CHEMIE UND ÖKOTOXIKOLOGIE* **19**, 43-38.
- HENSLEY, J.B., 2009: EFFECTS OF SIMULATED DRIFT OF GLYPHOSATE, IMAZETHAPYR, GLUFOSINATE AND IMAZAMOX TO NON-TRANSGENIC RICE. DISSERTATION AT THE SCHOOL OF PLANT, ENVIRONMENTAL, AND SOIL SCIENCES, 130 PP, [HTTP://ETD.LSU.EDU/DOCS/AVAILABLE/](http://ETD.LSU.EDU/DOCS/AVAILABLE/).
- KLINGMAN, T.E., C.A. KING AND L.R. OLIVER, 1992: EFFECT OF APPLICATION RATE, WEED SPECIES, AND STAGE OF GROWTH ON IMAZETHAPYR ACTIVITY. *WEED SCIENCE* **40**, 227-232.
- KOSCHNIK, T.J., M.D. NETHERLAND AND W.T. HALLER, 2007: EFFECTS OF THREE ALS-INHIBITORS ON FIVE EMERGENT NATIVE PLANT SPECIES IN FLORIDA. *JOURNAL OF AQUATIC PLANT MANAGEMENT* **45**, 47-51.
- MONTFORTS, M.H.M.M. AND F.M.W. DE JONG, 2007: FIELD STUDIES IN PESTICIDE REGISTRATION: QUESTIONING THE ANSWERS. *INTEGRATED ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND MANAGEMENT* **3**, 150-153.
- NRA, 2000: NATIONAL REGISTRATION AUTHORITY FOR AGRICULTURAL AND VETERINARY CHEMICALS EVALUATION OF THE NEW ACTIVE IMAZAMOX IN THE PRODUCTS RAPTOR HERBICIDE & RAPTOR WG HERBICIDE, 57 PP.
- OECD, 2006: OECD GUIDELINE 227 FOR THE TESTING OF CHEMICALS: TERRESTRIAL PLANT TEST: VEGETATIVE VIGOUR TEST. 21 PP.
- OLSZYK, D., T. PFLEEGER, E.H. LEE, C. BURDICK, G. KING, M. PLOCHER AND J. KERN, 2008: SELECTING AND EVALUATING NATIVE PLANTS FOR REGION-SPECIFIC PHYTOTOXICITY TESTING. *INTEGRATED ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND MANAGEMENT* **4**, 105-117.
- ONOFRI, A., E.A. CARBONELL, H.-P. PIEPHO, A.M. MORTIMER AND R.D. COUSENS, 2010: CURRENT STATISTICAL ISSUES IN WEED RESEARCH. *WEED RESEARCH* **50**, 5-24.
- PANNACCI, E., A. ONOFRI AND G. COVARELLI, G., 2006: BIOLOGICAL ACTIVITY, AVAILABILITY AND DURATION OF PHYTOTOXICITY FOR IMAZAMOX IN FOUR DIFFERENT SOILS OF CENTRAL ITALY. *WEED RESEARCH* **46**, 243-250.
- RIEMENS, M.M., T. DUECK AND C. KEMPENAAR, 2008: PREDICTING SUBLETHAL EFFECTS OF HERBICIDES ON TERRESTRIAL NON-CROP PLANT SPECIES IN THE FIELD FROM GREENHOUSE DATA. *ENVIRONMENTAL POLLUTION* **155**, 141-149.
- RITZ, C. AND J. STREIBIG, 2005: BIOASSAY ANALYSIS USING R. *JOURNAL OF STATISTICAL SOFTWARE* **12**, 1-22.
- RITZ, C. AND J. STREIBIG, 2010: PACKAGE 'DRC'. ANALYSIS OF DOSE-RESPONSE CURVES, 138 PP. [HTTP://WWW.R-PROJECT.ORG/](http://WWW.R-PROJECT.ORG/), [HTTP://WWW.BIOASSAY.DK](http://WWW.BIOASSAY.DK).

- SCHÖNHAMMER, A., M. PFENNING AND S. CHENEVIER, 2010: INNOVATIVE POSSIBILITIES OF WEED CONTROL IN OILSEED RAPE WITH CLEARFIELD. JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 329-330.
- SERA, 2010: IMAZAMOX - HUMAN HEALTH AND ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT. FINAL REPORT. SYRACUSE ENVIRONMENTAL RESEARCH ASSOCIATES, INC., NEW YORK. SERA TR-052-24-02A, 169 PP.
- TAN, S., EVANS, R.R., DAHMER, M.L., SINGH, B.K., SHANER, D.L. (2005): IMIDAZOLINONE-TOLERANT CROPS: HISTORY, CURRENT STATUS AND FUTURE. PESTICIDE MANAGEMENT SCIENCE **61**, 246-257.
- VAN VLAARDINGEN, P.L.A., T.P. TRAAS, A.M. WINTERSEN AND T. ALDENBERG, 2004: ETX 2.0. A PROGRAM TO CALCULATE HAZARDOUS CONCENTRATIONS AND FRACTION AFFECTED, BASED ON NORMALLY DISTRIBUTED TOXICITY DATA. RIVM REPORT 601501028/2004, 68 PP., RIVM BILTHOVEN, THE NETHERLANDS.
- WERSAL, R.M. AND J.D. MADSEN, 2007: COMPARISON OF IMAZAPYR AND IMAZAMOX FOR CONTROL OF PARROTFEATHER (*MYRIOPHYLLUM AQUATICUM* (VELL.) VERDC.). JOURNAL OF AQUATIC PLANT MANAGEMENT **45**, 132-136.
- WHITE, A.L. AND C. BOUTIN, 2007: HERBICIDAL EFFECTS ON NON-TARGET VEGETATION: INVESTIGATING THE LIMITATIONS OF CURRENT PESTICIDE REGISTRATION GUIDELINES. ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY **26**, 2634-2643.
- WHITE, A.L., C. BOUTIN, R.L. DALTON, B. HENKELMAN AND D. CARPENTER, 2009: GERMINATION REQUIREMENTS FOR 29 TERRESTRIAL AND WETLAND WILD PLANT SPECIES APPROPRIATE FOR PHYTOTOXICITY TESTING. PEST MANAGEMENT SCIENCE **65**, 19-26.

## Early season weed control in maize, new insights for a known phenomenon

*Frühe Unkrautkontrolle in Mais, neue Erkenntnisse zu einem bekannten Phänomen*

Willy Rueegg\* & Albrecht Michel

Syngenta Crop Protection AG, Werk Rosental, Schwarzwaldallee 215, 4058 Basel, Switzerland

\*Corresponding author, willy\_t.rueegg@syngenta.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.046

### Summary

The studies demonstrate the effect of early weed control on maize yields compared to late weed control with corresponding herbicide control strategies. Maize yield with a late weed control strategy was 10 % lower compared to a strategy controlling weeds early based on ten field trials. Interestingly the thousand-grain-weight (TGW) seems not to be affected significantly but the number of grains per cob were identified as major responsible factor for yield decrease. To explain these field effects, glasshouse test were undertaken to simulate the competitive weed effects. Specific methods allowed to grow maize plants to the yield stage even in the glasshouse under representative conditions. The field observations were confirmed clearly. The early yield parameters like number of grains per cob were mainly affected by the timing of weed control treatments (early vs. late), while the parameter grain rows per cob was more sensible than the number of grains per row. The TGW remained basically consistent. As a follow-up experiment, maize plants were grown under glasshouse conditions and as well grown to the yield stage. This time, subsamples were taken and the cob formation at very early stages was investigated destructively to follow the development of the cob formation. Ovules and rows were counted on 'mini cobs' (cobs with a size of 4 mm were harvested) under the binocular. Clearly, weed competition had an impact on the induction of the number of ovules early on and at the end impacted on the yield in ripe cobs.

**Keywords:** Herbicide, yield, yield parameter, *Zea mays* L.

### Zusammenfassung

Die vorliegenden Studien belegen die Wirkung der frühen Unkrautbekämpfung in Mais auf den Ertrag im Vergleich zu später Unkrautbekämpfung mit entsprechenden Herbizid-Bekämpfungsstrategien. Der Maisertrag mit einer späten Unkrautbekämpfungsstrategie war 10 % niedriger im Vergleich zu einer frühen Unkrautbekämpfungsstrategie. Diese Angaben basieren auf zehn Feldversuchen. Interessanterweise scheint das Tausendkorngewicht (TKG) nicht erheblich betroffen zu sein, aber die Anzahl der Körner pro Kolben wurde als Faktor für die Ertragsminderung identifiziert. Um diese Effekte zu klären, wurden Gewächshausversuche durchgeführt, welche kompetitiven Bedingungen simulierten. Dank spezifischer Methoden konnten Maispflanzen selbst im Gewächshaus unter repräsentativen Bedingungen bis zur Kornreife gehalten werden. Die Feldbeobachtungen wurden eindeutig bestätigt: Die frühen Ertragsparameter - wie Anzahl der Körner pro Kolben - wurden vor allem durch den Zeitpunkt der Unkrautbekämpfung (früh oder spät) betroffen, wovon die Parameter Reihen pro Kolben stärker reagierten als die Anzahl Körner pro Reihe. Das TKG blieb im Wesentlichen konstant. Als Nachfolge-Experiment wurden wiederum Pflanzen unter Gewächshausbedingungen angezogen und bis zur Ertragsreife angezogen. Diesmal wurden destruktiv Stichproben entnommen und die Kolbenbildung in sehr frühen Stadien untersucht. 'Mini-Maiskolben' (4 mm Kolbengröße) wurden geerntet und Kornanlagen unter dem Binokular gezählt. Ganz klar konnte auch hier der Einfluss von früher oder später Unkrautkonkurrenz auf die Induktion der Zahl der Samenanlagen festgestellt werden.

**Stichwörter:** Ertrag, Ertragsparameter, Herbizid, *Zea mays* L.

### 1. Introduction

Many studies concerning 'weed free' or 'critical periods' in maize were conducted in the 1980th, early 90th (HALL et al., 1992). They basically all concluded with the practical recommendation of complete weed free conditions between 3 and 6-8 leaves of maize plants in most regions of Europe. Nevertheless, these crop basics and the application for these findings have become dusty over time and are neglected in the agricultural practice. FERRERO et al. (2010) confirmed that still today a weed free period of 25 days after maize emergence is mandatory under northern Italian cropping conditions to avoid grain yield loss. It is hard to believe that weeds at such an early stage of maize growth can impact yield. Due to the limited biomass and ground cover it seems unlikely that small

weeds can have such an effect on the maize yield. Publications of RAJEAN and SWANTON (2001) showed clearly that young maize plants react sensitively: From the very moment weeds appear, maize detects them by differences in light quality. Maize adopts a defense strategy, called shade avoidance and tries to grow away from the weeds (PAGE et al., 2009). Maize that is stressed grows smaller roots and elongated shoots, resulting in an imbalanced plant. This stress can impact the early yield parameters like rows per cob and number of ovules per row. Since drought stress as such has only limited impact on maize yield before 12 leaf stage (derived from RHOADS and BENNETT, 1990) we believe that this shade avoidance is important. Therefore it makes sense to understand if we can reduce this effect through early season weed control with herbicides, because former studies relied on manual removal of the weeds in most of the cases.

## **2. Materials and methods**

### **2.1 Field trials to assess effects of weed control timings on yield and yield parameters under field conditions**

In 2009, an European field trial program was conducted with 10 trials in Italy (4 trials), Spain (1), Hungary (2) and Poland (3). Besides of an untreated check, the following herbicide application timings were conducted with the aim to achieve commercially acceptable weed control at row closure (> 90 % weed control - biomass reduction): 1) pre-emergent herbicide followed by post-emergent foliar herbicide (PRE-PO), 2) early post timing with a residual herbicide (EPO), 3) post-emergent herbicide (PO) and pre-emergent herbicide (PRE). Per trial, three randomized replicates were set up.

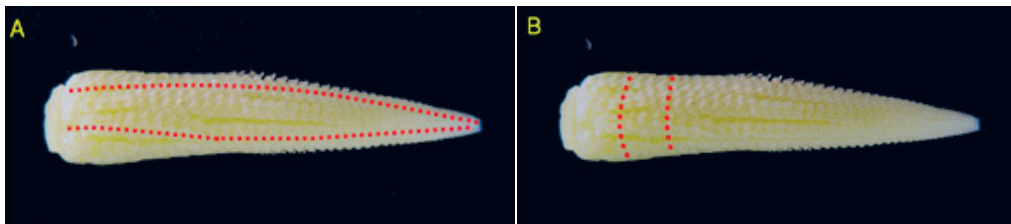
Weed control after 40-50 and 80-90 DAP (days after planting) was assessed for each treatment (ANONYMOUS, 2006). At grain maturity, grain yields and TGW (1000-grain-weight) were assessed. The number of grains per cob was calculated assuming one cob/plant and plant densities according to the trial and using yield/ha and TGW as parameters for calculation. Yield data are expressed in % of the best treatment.

### **2.2 Greenhouse experiments to assess impact of weeds and water stress on yield and yield parameters under controlled conditions**

In parallel to the field trials, glasshouse studies were conducted to understand the reaction of maize plants in competition with weeds and water stress in a more detailed way. The experiment was conducted in the greenhouses of the Institute de Biotechnologie des Plantes, France. The test plants were the maize variety DK315 and *Chenopodium album* L., (CHEAL) from Herbiseed (UK). CHEAL plants were used to induce the weed stress. Maize (1 grain) and weed (100 seeds) were sown in 20 cm diameter pots containing a mixture of perlite and loam. In February, 64 pots were sown, 32 pots with maize alone, the other 32 pots containing maize and *Chenopodium album*. The pots were arranged in blocks of four pots. One block contained all four test treatments: 1) no weed competition - no water stress (optimal); 2) no weed + water stress; 3) weed competition - no water stress; 4) weed competition + water stress. In order to keep realistic conditions, the pots were surrounded by additional borders of maize. Growing conditions were 18 °C / 15 °C (day / night) temperatures, photoperiod of 14 h. The plants were grown five weeks under these conditions until the weeds were removed. Several parameters were measured on the maize plants. The maize plants were then water stressed. Half of the control plants (16 plants grown without weed competition) and half the stressed plants (16 plants grown under weed competition) were deprived of watering during 16 days. The watering was resumed when the maize leaves began to scroll along their axis. At this time (end March), the temperature of the greenhouse was raised to 23 °C / 18 °C (day / night). At anthesis, the stems of maize plants (experimental plants as well as bordering plants) were gently shaken regularly to ensure a complete pollination. The plants were kept until complete ripening of the grains. End of July, the ears were collected and the aerial part and the roots weighed separately. For each ear, the kernels were counted and weighed. The Newman-Keuls test (NKT) was used to run the statistical analysis significance at the level of 0.05.

### 2.3 Greenhouse experiments to study the early cob formation depending on weed and water stress under controlled conditions

Growing conditions were the same as described under 2.2. Two levels of weed and water stress were applied to maize plants grown under glasshouse conditions and compared to no stress at all. The weed stress was applied from the germination to 3-4 leaf of maize, respectively 7-8 leaf of maize. The water stress started for both weed stress variants at 3-4 leaf of maize. The superimposed weed stress (weed removal at 7-8) was called HS = heavy stress the other one MS = mild stress. The ears of the maize plants not exposed to any stress (= control), HS or MS were dissected at different growth stages of the maize plants namely at 12 and 14 leaves, respectively. The stages of sampling were either before pollination (12 or 14 leaf stages) or after pollination (17 leaves and maturity of kernels) to understand the dynamics of ovule formation. Earlier sampling was not possible due to too small size of the mini-cobs. Several parameters were measured on the young ears: Length, number of spikelet along the ear axis, and number of rows per ear as shown in Figure 1. The Newman-Keuls test (NKT) was used to run the statistical analysis, significance at the level of 0.05.



**Fig. 1** Methods for counting the grains along the ear axis (A) and the number of rows round the ear (B) at very early grow stages; two measurements are carried out for each value. The length of the spikelet was 2-4 mm, earlier sampling stages were not useful as ovules on the mini-cob were not detectable.

**Abb. 1** Methoden zur Zählung der Körner entlang der Kolben-Achse (A) und die Anzahl der Kornreihen um die Kolben (B) in sehr frühen Wachstumsstadien; Zwei Messungen werden für jeden Wert durchgeführt. Die Länge der Ährchen lag bei 2-4 mm. Probenahme zu einem früheren Stadien waren nicht nützlich da die Ovulas auf den Minikolben nicht sichtbar waren.

## 3. Results and discussion

### 3.1 Field trials to assess effects of weed control timings on yield and yield parameters under field conditions

All treatments were fully selective and no phytotoxicity was expected and observed. Table 1 shows a clear trend of inferior yield in late weed control programs - respectively long weed exposure. Though the level of weed control in the PRE-PO, EPO residual and PO treatments was comparable and commercially acceptable at row closure, the average yield across all sites of the post treatment was lower than those of the early weed control programs. The yield loss was 11 % compared to the best treatment. The pre-emergent treatment (PRE) achieved the lowest weed control efficacy at row closure, but still controlled early on weeds on a high enough level (see Table 1 rating at 40-50 DAP) to lose less yield than the post-emergent treatment.

The results shown in Table 1 are a strong indicator that the timing of the herbicide application can play an important role on maize yield formation, not only the level of control. To explain this model, trials were established in the glasshouse.

**Tab. 1** Average of relative maize yield (in % of treatment with highest yield) depending on weed control timings (days after planting DAP) and control level (% weed control) based on 10 trials in HU, IT, FR and PL.

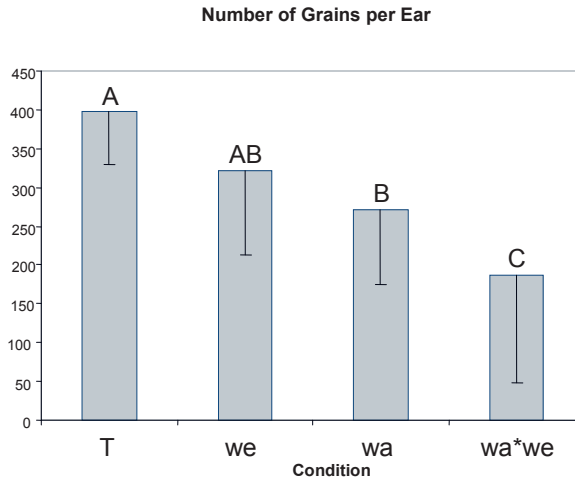
**Tab. 1** Durchschnitt des relativen Maisertrags (in % der Behandlung mit dem höchsten Ertrag) in Abhängigkeit des Anwendungszeitpunktes (Tage nach Saat DAP) und der Effizienz der Unkrautkontrolle (% Unkrautkontrolle) basierend auf 10 Feldversuchen in Ungarn, Italien, Frankreich und Polen.

Timing of herbicide application	Pre followed by post	Early post residual	Post-emergent	Pre-emergent	No weed control
Relative yield	100 %	99 %	89 %	95 %	59 %
Weed control at 40-50 DAP	94 %	92 %	75 %	84 %	0 %
Weed control at 80-90 DAP	96 %	91 %	92 %	82 %	0 %

### 3.2 Greenhouse experiments to assess impact of weeds and water stress on yield and yield parameters under controlled conditions

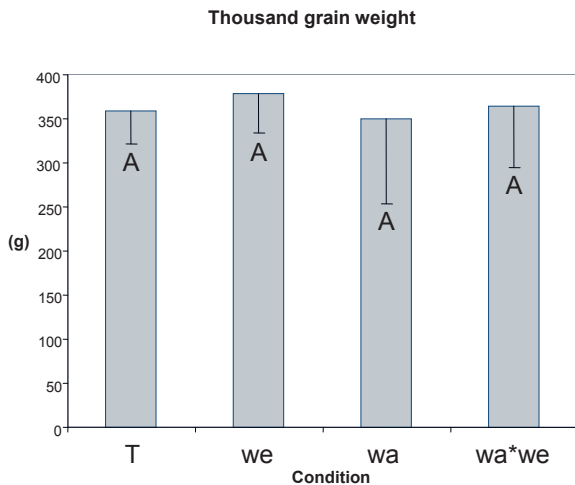
Despite of weed competition, the number of leaves was only slightly affected under 'no weed' conditions. The average in the 'no weed' treatment was 6.00 leaves per plant and under weedy conditions 5.84 leaves just before the occurrence of water stress. This difference was not significant therefore we assume that the plants were morphologically in a comparable shape when the water stress kicked in. Interestingly, now the plants reacted heavily in their response on number of grains per cob, while the thousand grain weight was consistent. In Figure 2 and 3, we can clearly see that the early weed stress until five leaf stage significantly impacted on the number of grains. These effects became stronger under water stress and even stronger when weed and water stress were combined. Interestingly the TGW has not been impacted at all through the increasing stress conditions. The TGW is formed after the stress period in this experiment and the new watering after the stress conditions did therefore support the TGW formation. The model demonstrates a) the interaction of the two stress factors weed and water and b) the high sensitivity of the grain-number-per-cob as one of the most sensitive yield factor during the early development of maize. This model enables to understand potential interactions in the behaviour of the field experiment as described under 2.1 and 3.1.

Nevertheless, there was no over-compensation and as well no stress memory effect. What is still missing is the visualisation of the early cob formation as a proof of the reduction of grains through early stress occurrence. An experiment was conducted to clarify this question and is described under 2.3 and 3.3.



**Fig. 2** Number of grains per ear of maize exposed to different growth conditions. T, Control; we, with weed stress only; wa, with water stress only; wa\*we: with weed and water stress. Different letters in the bars stand for a significant difference between the conditions at the level of 0.05 (Newman-Keuls test).

**Abb. 2** Anzahl der Körner pro Kolben nach verschiedenen Wachstumsbedingungen. T, Kontrollbehandlung; we, mit Unkrautstress; wa, mit Trockenstress; wa\*we, mit Unkraut- und Trockenstress. Unterschiedliche Buchstaben stehen für einen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen ( $\alpha = 0,05$ ; Newman-Keuls-Test).

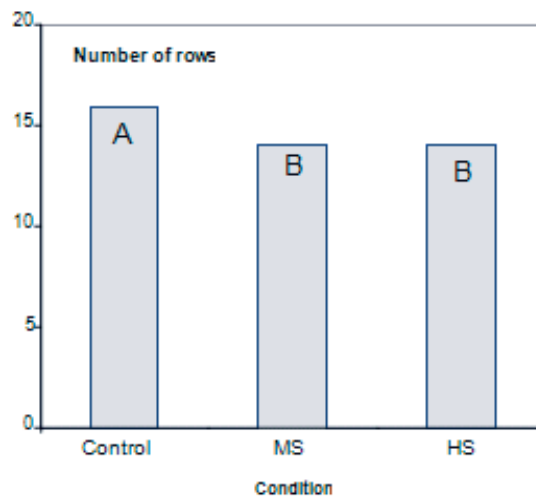


**Fig. 3** TGW of maize grains exposed to different growth conditions. T, Control; we, with weed stress only; wa, with water stress only; wa\*we: with weed and water stress. Different letters in the bars stand for a significant difference between the conditions at the level of 0.05 (Newman-Keuls test).

**Abb. 3** Tausendkorngewicht von Maiskörnern nach verschiedenen Wachstumsbedingungen. T, Kontrollbehandlung; we, mit Unkrautstress; wa, mit Trockenstress; wa\*we, mit Unkraut- und Trockenstress. Unterschiedliche Buchstaben stehen für einen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen ( $\alpha = 0,05$ ; Newman-Keuls-Test).

### 3.3 Greenhouse experiments to study the early cob formation depending on weed and water stress under controlled conditions

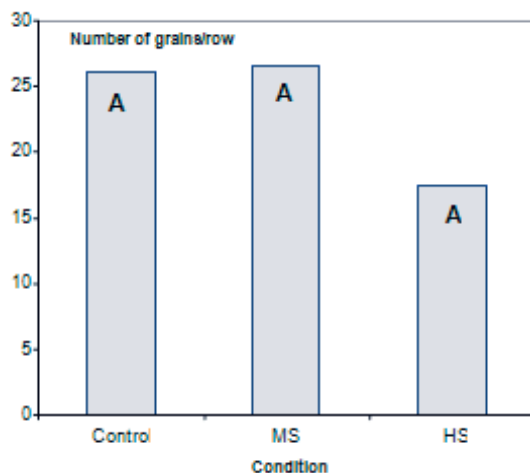
Based on the experiments, independent of mild (MS) or heavy (HS) stress, the number of maize spikelet-rows per cob is significantly affected very early by weed stress (method see Fig. 1B). Figure 4 shows this clearly: Stressed plants either from MS (14.3 rows/cob) or HS (14.0 rows/cob) differed significantly from plants of the control treatment (15.9 rows/cob). Interestingly, the number of rows per ear did not change between the early sampling dates. The values obtained for 12-leaf sampling time (14.5 rows/ear) and for 14-leaf sampling time (14.9 rows) did not differ significantly, indicating that the formation process of this yield parameter has been terminated. The number of ovules per ear-row (method, see Fig. 1A) tended to be decreased all above under HS but not under MS conditions (Fig. 5). This can be explained: Under MS, the (weed) stress stopped at the time when the parameter of number of ovules per row was initiated, while under HS the stress continued and therefore continued as well to impact the number of ovules per ear-row. The fact that the difference is not statistically significant could be linked to the difficulty to count ovules at the tip of the mini-cob precisely. As a control the number of grains per cob was counted on mature cobs (data not shown). They showed a significant difference of HS treatments compared to MS and control. Control and MS did not differ significantly. This indicates a certain compensation potential during this early cob formation process. Actually we would postulate that under MS conditions compensation is still possible but that under HS conditions, where the negative impact of stress is permanent negative, impacts can't be compensated anymore. The missing link is basically the confirmation of maize yield parameters in early crop stages under field conditions, depending on different weed control timings with herbicides. To cover this gap, field trials and corresponding mini-cob status investigations were conducted in the season 2011.



**Fig. 4** Mean number of rows per ear, split by stress condition MS (medium stress) and HS (heavy stress) and unstressed control; the values include both sampling times (12 and 14 leaves). Different letters in the bars stand for a significant difference between the sampling conditions at the level of 0.05 (Newman-Keuls-test).

**Abb. 4** Durchschnittliche Anzahl von Reihen pro Kolben nach verschiedenen Stressbedingungen MS (mässiger Stress) und HS (kräftiger Stress) und der nicht gestressten Kontrolle (Control). Unterschiedliche Buchstaben stehen für einen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen ( $\alpha = 0.05$ ; Newman-Keuls-Test).





**Fig. 5** Number of kernels per row, split by stress condition MS (medium stress) and HS (heavy stress) and unstressed control; each mean number gathers all the two sampling times Different letters in the bars stand for a significant difference between the conditions at the level of 0.05 (Newman-Keuls-test).

**Abb. 5** Durchschnittliche Anzahl von Körnern pro Kolbenreihe nach verschiedenen Stressbedingungen MS (mässiger Stress) und HS (kräftiger Stress) und der nicht gestressten Kontrolle (Control). Unterschiedliche Buchstaben stehen für einen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen ( $\alpha = 0.05$ ; Newman-Keuls-Test).

#### 4. Discussion and conclusion

Basically the findings confirm the knowledge of maize growers and researchers generated since the 80s namely to control weeds in maize early to secure yield. This knowledge went dusty due to the fact that excellent post-emergent herbicides came to the market. These herbicides (mainly HPPD and ALS inhibitors) controlled weeds highly efficiently comparable to the popular residual herbicides. The fact early weed control was associated with environmental issues enforced this swap. But the reduction on efficiency as the main base for comparison is insufficient. The timing benefits of pre-emergent or early-post weed control on economic impact were probably not considered sufficiently. The fact that only timing differences of weed control measures at comparable weed control levels can cause a 10 % yield difference needs attention: At current average grain prices of USD 250/ton and the assumption of a grain yield of 12 t/ha, the cost of a late timing are significant and normally underestimated. Therefore a balanced view of weed control strategy is needed and early weed control strategies can lead to higher profits for the grower.

#### References

- ANONYMOUS, 2006: EPPO GUIDELINE: WEEDS IN MAIZE PP 1/50 (3).
- FERRERO, A., A. CRIVELLARI, F. TESIO AND F. VIDOTTO, 2010: CRITICAL PERIOD OF WEED COMPETITION IN MAIZE IN NORTH-WESTERN ITALY. IN: PROCEEDINGS 15TH EWRS SYMPOSIUM 2010, KAPOSVÁR. 192.
- HALL, M.R., C.J. SWANTON AND G.W. ANDERSON, 1992. THE CRITICAL PERIOD OF WEED CONTROL IN GRAIN MAIZE (*ZEA MAYS*). *WEED SCIENCE* **40**, 441-447.
- PAGE, E.R., M. TOLLENAAR, E.A. LEE, L. LUKENS AND C.J. SWANTON, 2009: DOES THE SHADE AVOIDANCE RESPONSE CONTRIBUTE TO THE CRITICAL PERIOD FOR WEED CONTROL IN MAIZE (*ZEA MAYS*)? *WEED RESEARCH* **49**, 563-571.
- RAJEAN, I. AND C.J. SWANTON, 2001: UNDERSTANDING MAIZE-WEED COMPETITION: RESOURCE COMPETITION, LIGHT QUALITY AND THE WHOLE PLANT. *FIELD CROPS RESEARCH* **71**, 139-150.
- RHOADS, F.M. AND J.M. BENNET, 1990: CORN. IN: STEWART, B.A. AND D.R. NIELSEN (EDS.): IRRIGATION OF AGRICULTURAL CROPS. AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, MADISON, USA, 569-597.
- SHAW, R.H. 1988: CLIMATE REQUIREMENT. IN: SPRAGUE, G.F. AND J.W. DUDLEY (EDS.): CORN AND CORN. IMPROVEMENT (3RD ED.). AGRONOMY SERIES: NO. **18**. ASA. MADISON, WISCONSIN, USA, 609-633.



## Weed spectrum and selectivity of tembotrione under varying environmental conditions

*Unkrautspektrum und Selektivität von Tembotrione unter verschiedenen Umweltbedingungen*

Elmar Gatzweiler\*, Hansjörg Krähmer, Erwin Hacker, Martin Hills, Klaus Trabold & Georg Bonfig-Picard  
Bayer CropScience AG, Industriepark Hoechst, Building H 872, 65926 Frankfurt am Main, Germany

\*Corresponding author, elmar.gatzweiler@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.047

### Summary

Tembotrione is a novel HPPD maize herbicide effective against a wide range of broadleaf and grass weeds. Some characteristics of this compound are described in this paper linking weed and crop responses following tembotrione applications to environmental parameters or use conditions.

The activity of HPPD herbicides is very much dependant on the availability of light. Increasing illumination intensities following application augmented the activity levels of several comparable HPPD compounds in a growth chamber experiment. Tembotrione was shown to be more efficacious at low and high illumination intensities compared to standard herbicides applied at the same rate. At the high intensity, tembotrione retained its high efficacy from two up to four weeks after application showing a rapid and strong herbicidal activity.

The activity following post-emergent treatments of tembotrione against broadleaf weeds was influenced by soil characteristics such as soil texture and organic matter content in a glasshouse test. The level of weed suppression clearly declined stronger on heavier soils than on lighter soils at a rather low application rate of 12.5 g a.i./ha and lower. This is a clear indication of residual efficacy of tembotrione.

The selectivity of tembotrione was tested on numerous maize varieties following post-emergent treatment with tembotrione alone or in mixture with the safener isoxadifen-ethyl under field conditions in Germany in comparison to a standard herbicide. The level of crop phytotoxicity tended to increase in the following order: Tembotrione plus safener, standard herbicide to tembotrione alone. Only the mixture of tembotrione with safener did not cause significant adverse effects on maize.

Another field experiment in the USA examined crop phytotoxicity using one maize variety in a situation of in-furrow soil insecticide treatment followed by a post-emergent application of tembotrione (plus/minus isoxadifen-ethyl) and standard herbicides. The maximum observed crop response for tembotrione plus isoxadifen-ethyl was again negligibly low, while applications of tembotrione alone or standard herbicides caused instances of unacceptable maize phytotoxicity.

**Keywords:** Efficacy, HPPD, isoxadifen-ethyl, maize, safener

### Zusammenfassung

Tembotrione ist ein neues HPPD Mais-Herbizid mit breiter Wirkung gegen ein- und zweikeimblättrige Unkräuter. Einige Eigenschaften von Tembotrione werden in den dargestellten Versuchen aufgezeigt, die den Einfluss von Umweltparametern bzw. Applikationsbedingungen auf die Unkrautwirkung bzw. die Kulturpflanzenselektivität von Tembotrione beschreiben.

Die Wirkung von HPPD-Herbiziden ist sehr stark lichtabhängig. Bei mehreren HPPD-Herbiziden erwies sich eine erhöhte Beleuchtungsstärke nach Applikation förderlich für die Effizienz der Unkrautbekämpfung in einem Klimakammer-Versuch. Tembotrione zeigte im Vergleich zu anderen HPPD-Standards bei gleicher Aufwandmenge sowohl bei geringer als auch bei hoher Beleuchtungsstärke eine höhere herbizide Aktivität. Bei hoher Beleuchtungsstärke blieb Tembotrione auf hohem Wirkniveau von zwei bis vier Wochen nach Applikation. Somit zeigte Tembotrione eine schnelle, starke und nachhaltige herbizide Wirkung.

Die Wirkung bei Nachauflauf-Anwendung von Tembotrione gegen breitblättrige Unkräuter wurde in einem Gewächshaus-Versuch durch die Eigenschaften der eingesetzten Böden wie die Textur und den Gehalt an organischer Substanz beeinflusst. Unter einer relativ niedrigen Aufwandmenge von 12,5 g a.i./ha sank das Wirkniveau auf schweren Böden stärker ab als auf leichten Böden. Dies ist ein klarer Hinweis auf eine Residualwirkung von Tembotrione.

Die Kulturverträglichkeit von Tembotrione allein und in Mischung mit dem Safener Isoxadifen-ethyl wurde nach

Anwendung im Nachauflauf in einem Feldversuch in Deutschland anhand einer Vielzahl von Maissorten und im Vergleich zu einem Standardherbizid geprüft. Tendenziell nahm die Phytotoxizität gegenüber Mais in der Reihenfolge Tembotrione plus Safener, Standardherbizid und Tembotrione allein zu. Nur in der Variante Tembotrione mit Safener ergab sich eine breite Verträglichkeit gegenüber allen Maissorten.

In einem weiteren Feldversuch zur Kulturverträglichkeit in Mais wurden in den USA verschiedene Bodeninsektizide mit der Saat in die Furche appliziert und anschließend eine Herbizid-Anwendung im Nachauflauf von Tembotrione allein und mit dem Safener Isoxadifen-ethyl im Vergleich zu einem Standardherbizid evaluiert. Für die Mischung von Tembotrione mit Safener wurde auch hier eine sehr gute Kulturverträglichkeit beobachtet, während es bei allen anderen Anwendungen zu einer nicht akzeptablen Schädigung des Mais kam.

**Stichwörter:** HPPD, Isoxadifen-Ethyl, Mais, Safener, Wirksamkeit

## 1. Introduction

Tembotrione was first launched as a maize herbicide in 2007 by Bayer CropScience. Its chemical and biological properties are described in detail in VAN ALMSICK et al. (2009). Tembotrione inhibits the enzyme 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD) efficiently in numerous weed species. The compound is sold in various mixtures and formulations, e.g. under the trade names Auxo<sup>®</sup>, Capreno<sup>®</sup>, Laudis<sup>®</sup> or Soberan<sup>®</sup>. The performance of tembotrione as a herbicide was presented at several international conferences (e.g. ZOLLINGER and RIES, 2006; YOUNG et al., 2007; LAMORE et al., 2010) and in several scientific papers (e.g. WILLIAMS II and PATAKI, 2008).

HPPD is an enzyme of the biosynthetic pathway that converts tyrosine to plastoquinone and tocopherol. Plastoquinone is a cofactor for the phytoene desaturase, a component of the carotenoid biosynthetic pathway. The depletion of plastoquinone levels by inhibition of HPPD results in depletion of carotenoids and an absence of chloroplast development in emerging foliar tissue which then appears bleached and stunted (HAWKES, 2007). As carotenoids play key roles in photosynthesis and in photoprotection there is a clear involvement of light in the expression of the herbicidal activity of HPPD inhibitors.

A number of trial results are presented here which help to further describe this unique and highly selective maize herbicide when combined with the safener isoxadifen-ethyl (SANTEL, 2009). The advantages of chemical safeners, e.g. isoxadifen-ethyl, to improve the selectivity towards maize following herbicide treatment are exemplarily described by HACKER et al. (2002).

The efficacy of herbicides can be directly influenced by environmental conditions, such as temperature, soil factors or illumination intensity, or use conditions, such as fertilizer treatments or additional pesticide applications. The objective of the described experiments was to characterise the impact of some of these parameters (light and soil factors) on the efficacy and the selectivity of tembotrione. Especially crop responses to pesticide applications represent a sensitive property of efficacious herbicides which makes it imperative to assess selectivity under varying environmental and use conditions in the field. Some examples of such field trials for tembotrione are presented in this paper.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Growth chamber trials with different light regimes

To investigate the role of light on the efficacy of tembotrione, a growth chamber trial was conducted using two chambers with different illumination intensities. Ten monocotyledonous and dicotyledonous species were used in the test: *Digitaria sanguinalis*, *Echinochloa crus-galli*, *Setaria faberi*, *Setaria viridis*, *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Pharbitis purpurea*, *Polygonum convolvulus* and *Xanthium strumarium*. The test species (3 to 20 plants per pot depending on species) were raised in 8 cm diameter pots containing a sandy loam soil in a

---

<sup>®</sup> = registered tradenames of Bayer CropScience

glasshouse up until the time of being treated. Growth conditions comprised a 12 h day/night light regime with a daytime temperature of 21 °C and a relative humidity of 60 % and a night temperature of 13 °C and a relative humidity of 80 %.

The plants were treated on a track sprayer fitted with a flat fan nozzle delivering 300 l/ha water. The following dose rates were employed: 150, 100, 75, 50, and 0 g a.i./ha. Tembotrione was formulated as an experimental suspension concentrate. Plants were treated post-emergent at the 2-3 leaf stage (BBCH 12-13) without replication. After application, plants were cultivated in two separate growth chambers under the same growing conditions as described earlier except for two different light regimes. One growth chamber was illuminated with a high illumination intensity of ca. 28000 Lux and the other with a low illumination intensity of ca. 8000 Lux. Test plants were monitored for four weeks and the efficacy of tembotrione was visually assessed after 2, 3 and 4 weeks.

## 2.2 Glasshouse trials with different soils

Under the conditions of a post-emergence treatment a proportion of the applied amount of a herbicide reaches the soil surface and may contribute to the overall efficacy via root uptake. This soil activity can be, however, significantly influenced by soil factors. Therefore, this experiment examined the efficacy of tembotrione against broadleaf weeds grown in different soils following post-emergent treatment. Test plants were grown in the soils described in Table 1.

The following dicotyledonous species were treated post-emergent at the 2-3 leaf stage (BBCH 12-13) without replication at rates of 50, 25, 12.5, 6.25, and 0 g/ha tembotrione, formulated as a wettable powder: *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus*, *Ambrosia elatior*, *Bidens pilosa*, *Chenopodium album*, *Euphorbia heterophylla*, *Kochia scoparia*, *Pharbitis purpurea*, *Polygonum convolvulus* and *Xanthium strumarium*. The experiments were conducted in the glasshouse under a 14 h day and a 10 h night regime with a daytime temperature of 24 °C and a night temperature of 16 °C and a relative humidity of 60 % day and night. The herbicidal activity of tembotrione was visually evaluated 4 weeks following treatment. All other test parameters related to the cultivation of plants and to the application were the same as described in paragraph 2.1.

**Tab. 1** Description of soils used according to texture and organic matter content.

**Tab. 1** Beschreibung der Böden nach Bodenart und Gehalt an organischer Substanz.

	Soil texture	Organic matter [%]
Trebur soil	clayey loam (tL)	4.3
Standard soil	silty loam (uL)	2.5
Schwanheim soil	loamy sand (lS)	1.6

## 2.3 Field trials on selectivity in maize varieties

A field trial with 71 maize varieties was carried out in Germany in 2001 at the Bayer CropScience Research Station in Gersthofen to identify possible differences in the tolerance of maize varieties to the application of tembotrione. Each variety was sown in two rows on two plots of 213 m<sup>2</sup> size. The herbicides were applied at BBCH 14-16 to all varieties in two replicates. Maize was treated with tembotrione (300 g a.i./ha), tembotrione plus isoxadifen-ethyl (300 + 150 g a.i./ha) and a standard herbicide (300 g a.i./ha) using a plot sprayer at 300 l/ha water volume. The tembotrione use rate in this experiment was exaggerated and three times higher than the currently recommended rate. Phytotoxicity was visually assessed at 7, 14, 28 and 42 days after application in comparison to the untreated control and the maximum value per plot was selected within replicate treatments.

## 2.4 Field trials on maize selectivity with in-furrow insecticide treatment

The tolerance of maize to herbicide applications can be reduced, when herbicides are applied after 'in furrow'-application of insecticides into the row for the control of corn root worm or other soil insects. The potential interaction between insecticide application and herbicide treatment on the tolerance of maize was assessed for tembotrione in a field trial in USA in 2001 at the Bayer CropScience Midwest

Field Research Station in Champaign county, Illinois.

During the planting of maize, several insecticides were applied in-furrow to control soil insects. For each insecticide treatment, two rows of maize were treated per plot of approx. 19 m<sup>2</sup> size with two replicates per treatment. The following insecticides were applied at highest recommended rates as in-furrow treatments: Terbufos, chlorpyrifos, triazamate, tefluthrin and fipronil.

The post-emergent treatments with tembotrione (200 g a.i./ha) alone and in mixture with isoxadifen-ethyl (200 + 100 g a.i./ha) as well as with two herbicide standards (210 and 70 g a.i./ha, respectively) were done at BBCH 13. After herbicide application the phytotoxicity was assessed visually in comparison to the untreated control for each plot and each individual insecticide-herbicide combination at 6 and 21 days after the application and expressed as maximum phytotoxicity within replicate treatments.

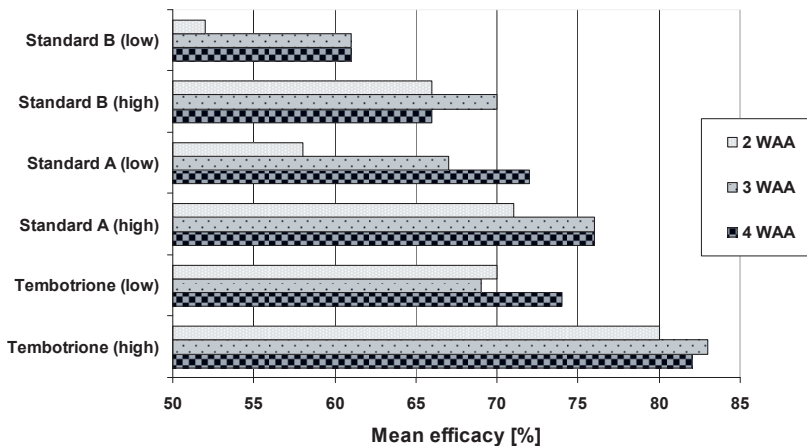
### 3. Results

#### 3.1 Influence of illumination intensity on the performance of tembotrione

The results in Figure 1 show the development of the mean efficacy over time for the different herbicide treatments applied under two different light regimes at a dose rate of 75 g a.i./ha. The figure shows that in terms of overall efficacy against the ten weed species tested, tembotrione provided the highest levels of control under both light regimes whereby especially the brighter conditions favoured a very fast burn-down of the weeds. The control levels provided by tembotrione two weeks after application (= 2 WAA) was at least 10 % better than that of two HPPD standard herbicides.

Under lower illumination intensities, the two WAA control levels of all tested compounds were at least 10 % lower for the same rates than under the bright conditions. All compounds tested followed a similar trend. The ranking of the compounds according to their mean efficacy was under both light regimes the same: Tembotrione > standard A > standard B.

Under the conditions of lower illumination intensities, the efficacy levels for all tested herbicides increased on average for the duration of the experiment from 2 WAA up to the 4 WAA assessment.



**Fig. 1** Mean efficacy (% of untreated control) of tembotrione and HPPD standard compounds A and B against several weed species grown under high and low illumination intensities in growth chambers (WAA = weeks after application).

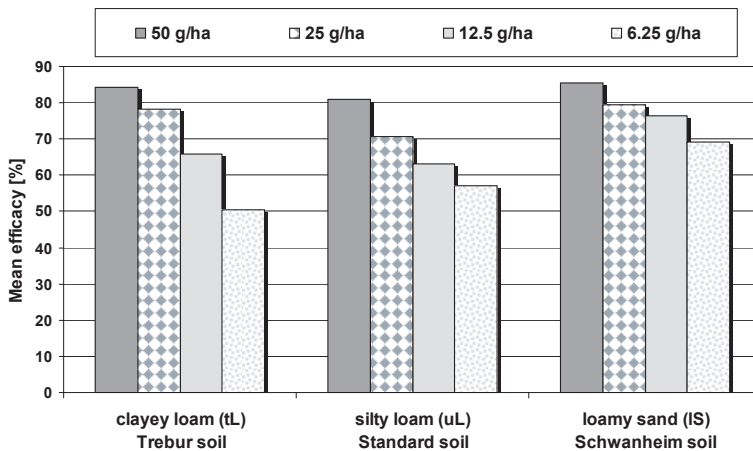
**Abb. 1** Durchschnittliche Wirkung (in % der unbehandelten Kontrolle) von Tembotrione und anderen HPPD-Wirkstoffen gegen mehrere Unkraut-Spezies unter hoher und niedriger Beleuchtungsstärke in Klimakammern.

Under the high illumination intensity the initial 2 WAA efficacy for tembotrione is virtually the same as the final assessment after 4 weeks. This demonstrates that under high illumination conditions tembotrione can be expected to show a very fast herbicidal activity.

### 3.2 Influence of different soils on the performance of tembotrione

The three different soils employed in this glasshouse experiment as growth medium of the test weeds showed a wide spectrum of soil texture and organic matter content (Tab. 1). The coarser the soil texture is, the lower the organic matter content (e.g. Schwanheim soil). Figure 2 relates the mean efficacy of tembotrione following post-emergent treatment at varying use rates to the soils used.

The overall efficacy against dicotyledonous weeds (mean of all rates per soil) was most pronounced in the Schwanheim soil followed by the Standard soil and then the Trebur soil. Distinguishing the application rates, the mean efficacy at the highest dose rate of 50 g/ha was fairly equal at all soils. Only at the lower applications rates, the herbicidal activity was stronger diminished in heavier soils, especially in the Trebur soil, compared to the lighter soils. It can therefore be shown that the efficacy of tembotrione has a residual component affected by the kind of soil and evident at rates of 12.5 g/ha and lower.



**Fig. 2** Mean efficacy of tembotrione applied post-emergent against dicotyledonous weed species growing in different soils at four weeks after application.

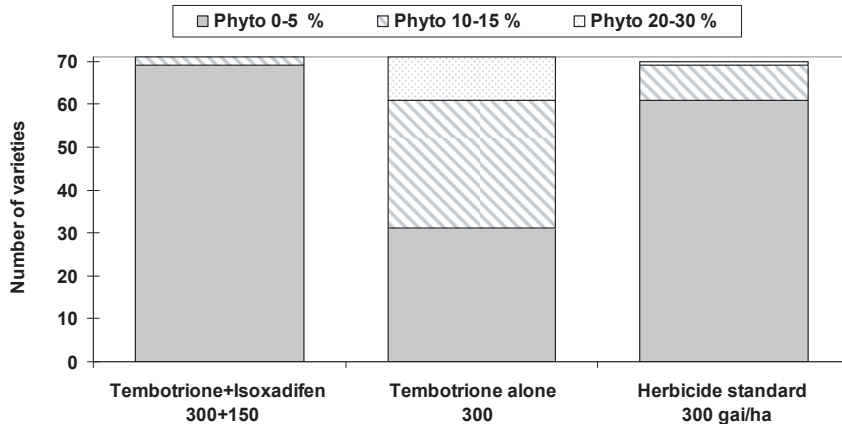
**Abb. 2** Durchschnittliche Wirkung von Tembotrione nach Nachauflauf-Anwendung gegen dikotyle Unkräuter, die auf unterschiedlichen Böden aufgezogen wurden, vier Wochen nach Applikation.

### 3.3 Field trials on crop tolerance of maize varieties

The tolerance of crops to herbicide treatments is known to differ between maize varieties. As demonstrated in Figure 3, in the present study almost all varieties tolerated the herbicide-safener combination of tembotrione plus isoxadifen-ethyl at 300+150 g a.i./ha without substantial phytotoxicity. Just two varieties showed a marginal phytotoxicity of up to 15%.

Tembotrione used without safener was less selective with phytotoxicity ratings between 10-30% in approx. 60% of the varieties tested. The herbicide standard at 300 g a.i./ha showed as well a reduced selectivity although less pronounced with approx. 15% of the varieties tested showing phytotoxicity of up to 30%.

The composition tembotrione plus isoxadifen-ethyl at the exaggerated rate of 300+150 g a.i./ha achieves a complete crop tolerance in the vast majority of the common maize varieties.

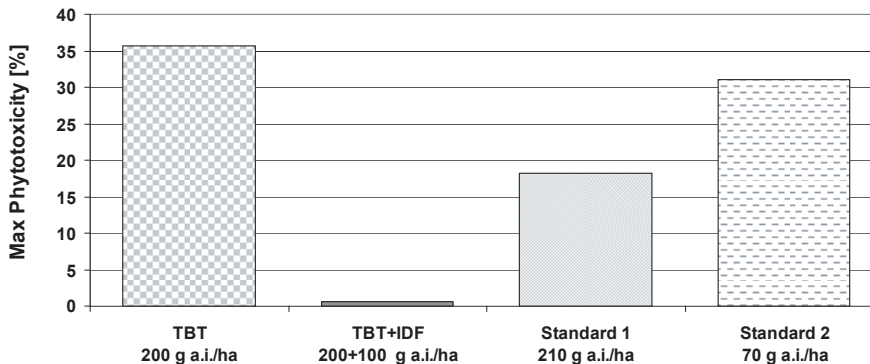


**Fig. 3** Crop tolerance of maize varieties to post-emergent herbicide applications under field conditions (Gersthofen, Germany, 2001) expressed as level of phytotoxicity (Phyto).

**Abb. 3** Kulturverträglichkeit von Maissorten auf Herbizidanwendungen im Nachauflauf unter Feldbedingungen (Gersthofen, Germany, 2001) ausgedrückt als Niveau phytotoxischer Effekte (Phyto).

### 3.4 Effect of tembotrione on maize with prior soil application of insecticides

Herbicide treatments in this field experiment showed clear differences in crop tolerance of maize (Fig. 4). Tembotrione alone at 200 g a.i./ha was not selective enough while the tank mixture with the safener isoxadifen-ethyl at 200+100 g a.i./ha achieved a complete selectivity in maize despite a preceding in-furrow application of soil insecticides. The standard herbicide 1 at 210 g a.i./ha and standard 2 at 70 g a.i./ha also showed phytotoxic effects against the maize variety in combination with in-furrow insecticide treatments, albeit less pronounced than with tembotrione alone.



**Fig. 4** Maize selectivity following in-furrow application of soil insecticides and subsequent post-emergent herbicide treatments under field conditions (Champaign county, Illinois, USA, 2001) expressed as maximum phytotoxicity (TBT = tembotrione, IDF = isoxadifen-ethyl).

**Abb. 4** Verträglichkeit von Mais nach Anwendung von Bodeninsektiziden in der Saarfurche mit nachfolgender Nachauflauf-Anwendung von Herbiziden unter Feldbedingungen (Champaign county, Illinois, USA, 2001) ausgedrückt als maximale Phytotoxizität (TBT = tembotrione, IDF = isoxadifen-ethyl).



#### 4. Discussion

Some additional features of tembotrione have been acquired with the results of the presented trials linking weed and crop responses to tembotrione with environmental parameters or use conditions.

The results on the herbicidal efficacy related to different light regimes in growth chambers showed a more rapid and stronger herbicidal activity of tembotrione compared to other HPPD standard herbicides. This property can be expected to be even more valid in a field situation where much higher illumination intensities occur. A contributing factor to this may be the good xylem and phloem systemicity of tembotrione as described by SCHULTE and KÖCHER (2009) once the compound has penetrated into the inner parts of the plants. The uptake of tembotrione by roots following post-emergent treatment is contributing to the overall efficacy as shown in an experiment with different soils. This clearly indicates residual activity.

The previously observed high selectivity of tembotrione in maize, if applied together with the safener isoxadifen-ethyl (SCHULTE and KÖCHER, 2009), was confirmed on a wide range of varieties and an extended range of use conditions in the field. Even in cases where additional production factors able to cause negative crop responses, like the in-furrow application of insecticides, are combined with tembotrione plus safener treatments, the very good maize selectivity was not impaired.

Hence, tembotrione was demonstrated to combine a fast herbicidal activity with a robust and broad maize selectivity when applied with a safener under various environmental and use conditions.

#### References

- HACKER, E., H. BIERINGER, L. WILLMS, G. SCHNABEL, H. KOECHER, H. HAGEMEISTER AND W. STEINHEUER, 2002: FORAMSULFURON PLUS SAFENER – EINE NEUE TECHNOLOGIE ZUR BEKÄMPFUNG VON SCHADGRÄSERN UND UNKRÄUTERN IN MAIS. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 747-756.
- HAWKES, T.R., 2007: HYDROXYPHENYLPYRUVATE DIOXYGENASE (HPPD) – THE HERBICIDE TARGET. IN: KRÄMER, W. AND U. SCHIRMER (EDS.), 2007: MODERN CROP PROTECTION COMPOUNDS, VOLUME 1, 211-220.
- LAMORE, D.J., G. SCHWARZLOSE, M. MAHONEY, J. CANTWELL AND J. BLOOMBERG, 2010: TEMBOTRIONE MIXES WITH COMMERCIAL ADJUVANT PACKAGES. PROCEEDINGS NORTH CENTRAL WEED SCIENCE SOCIETY **65**, 124.
- SANTEL, J., 2009: LAUDIS OD – A NEW HERBICIDE FOR SELECTIVE POST-EMERGENCE WEED CONTROL IN CORN (*ZEA MAYS* L.). BAYER CROPSCIENCE JOURNAL **62**, 95-108.
- SCHULTE, W. AND H. KÖCHER, 2009: TEMBOTRIONE AND COMBINATION PARTNER ISOXADIFEN-ETHYL – MODE OF HERBICIDAL ACTION. BAYER CROPSCIENCE JOURNAL **62**, 35-52.
- VAN ALMSICK, A., J. BENET-BUCHHOLZ, B. OLENIK, L. WILLMS ET AL., 2009: TEMBOTRIONE – A NEW EXCEPTIONALLY SAFE CROSS-SPECTRUM HERBICIDE FOR CORN PRODUCTION. BAYER CROPSCIENCE JOURNAL **62**, 5-16.
- WILLIAMS II, M.M. AND J.K. PATAKY, 2008: GENETIC BASIS OF SENSITIVITY IN SWEET CORN TO TEMBOTRIONE. WEED SCIENCE **56**, 364-370.
- YOUNG, B.G., R.K. ZOLLINGER AND M.L. BERNARDS, 2007: VARIABILITY OF TEMBOTRIONE EFFICACY AS INFLUENCED BY COMMERCIAL ADJUVANT PRODUCTS. PROCEEDINGS NORTH CENTRAL WEED SCIENCE SOCIETY **62**, 141.
- ZOLLINGER, R. AND J.L. RIES, 2006: COMPARING MESOTRIONE, TEMBOTRIONE, AND TOPRAMEZONE. PROCEEDINGS NORTH CENTRAL WEED SCIENCE SOCIETY **61**, 114.



## Soil activity of post-emergent herbicides recommended for black-grass and loose silky-bent grass control in winter wheat

*Bodenwirkung von empfohlenen Nachauflaufferbiziden gegen Acker-Fuchsschwanz und Windhalm in Winterweizen*

Ingo Meiners<sup>1\*</sup>, Hansjörg Krähmer<sup>2</sup> & Bernd Honermeier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Gießen, Ludwigstraße 23, 35390 Gießen, Germany

<sup>2</sup>Bayer CropScience AG, Industriepark Hoechst, Building H 872, 65926 Frankfurt am Main, Germany

\*Corresponding author, Ingomeiners@gmail.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.048

### Summary

The natural emergence of black-grass (*Alopecurus myosuroides*) was observed on a wheat field over two growing seasons in 2009 and 2010. Under shallow tillage conditions, *A. myosuroides* emerged steadily between the months September and May. Peak emergence occurred after sowing until the middle of October followed by continuous emergence until winter. Another peak of emergence took place in spring through the beginning of May. Under conventional tillage conditions (ploughing) in 2010, almost no germination of *A. myosuroides* could be observed after the first herbicide treatment in autumn. In order to evaluate the soil activity of recommended post-emergence herbicides, two pot experiments with sterilized soil were carried out outdoors and under greenhouse conditions. The results show that all tested grass herbicides, ACCase-inhibitors and ALS-inhibitors, demonstrated strong soil efficacy against *A. myosuroides* and *Apera spica-venti* in most cases. Especially the herbicides propoxycarbazone, pyroxsulam and mesosulfuron-methyl showed a high soil activity even at low doses. While the soil activity was consistent for clodinafop-progagyl, variable results were observed for fenoxaprop-P-ethyl and pinoxaden in the two experiments. We conclude that the soil activity of the tested herbicides is very variable and dependent on many factors which make it difficult to predict their activity especially under field conditions.

**Keywords:** *Alopecurus*, *Apera*, cereals, dormancy, pre-emergence activity, weed germination

### Zusammenfassung

Das natürliche Auflaufverhalten von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) wurde auf einem Weizenfeld über zwei Vegetationsperioden in 2009 und 2010 beobachtet. Bei Minimalbodenbearbeitung lief *A. myosuroides* stetig zwischen den Monaten September bis Mai auf. Dabei fand ein Hauptauflauf von *A. myosuroides* zwischen Weizenaussaat und Mitte Oktober statt, gefolgt von kontinuierlichem Auflauf bis in den Winter und einem erhöhten Auflauf im Frühling bis Anfang Mai. Bei konventioneller Bodenbearbeitung (Pflügen) im Jahr 2010 wurde dagegen nach erster Herbizidbehandlung im Herbst kaum noch Auflauf beobachtet. Um die Bodenwirkung von empfohlenen Nachauflaufferbiziden zu bewerten, wurden Gefäßversuche mit sterilisiertem Boden unter Freiland- und Gewächshausbedingungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass alle getesteten Grasherbizide, ACCase-Inhibitoren und ALS-Inhibitoren, in den meisten Fällen eine hohe Bodenwirkung gegenüber *A. myosuroides* und *Apera spica-venti* aufweisen. Sogar bei niedrigen Dosierungen zeigten besonders die Wirkstoffe Propoxycarbazone, Pyroxsulam und Mesosulfuron-methyl eine hohe Bodenwirkung. Während die Bodenwirkung von Clodinafop-Progagyl beständig war, kam es bei Fenoxaprop-P-Ethyl und Pinoxaden in den zwei Experimenten zu unterschiedlichen Ergebnissen. Wir schlussfolgern, dass die Bodenwirkung von Herbiziden sehr variabel ist und von vielen Faktoren abhängt, so dass es an dieser Stelle schwierig ist, Vorhersagen zur Wirkung, besonders unter Feldbedingungen, zu machen.

**Stichwörter:** *Alopecurus*, *Apera*, Dormanz, Getreide, Unkrautkeimung, Voraufwurf

### 1. Introduction

The most important weeds of winter cereals in Germany are *Alopecurus myosuroides* HUDS. and *Apera spica-venti* (L.) P. B.. These weeds are well adapted to current agricultural production systems because they respond positively to reduced tillage, early sowing dates and high nitrogen levels (AMANN, 1991; AMANN et al., 1992; PULCHER-HÄUßLING and HURLE, 1986). Their growth behaviour is well adapted to winter-sown crops and they are very competitive. Therefore, grass weeds are controlled regularly and in most cases with herbicides. Currently, *A. myosuroides* and *A. spica-venti* can be controlled by either

pre- or post-emergent herbicide applications. However, the most efficient application timing has not yet been defined due to varying biological, agronomic and climatic factors. In many cases, the efficacy of post-emergence herbicides is not maintained long enough to provide sufficient control. Late flushes of weeds such as *A. myosuroides* occur especially in years with a high level of seed dormancy. *A. myosuroides* dormancy varies every year and is highly influenced by the weather conditions during maturation (FENNER, 1991, MOSS et al., 2006). MEINERS et al. (2011) report that *A. myosuroides* is capable of slow emergence over a longer period of time and that the emergence is dependent on the cropping practice. Further, it is reported that *A. myosuroides* is able to emerge at very low temperatures such as 2 °C (MENCK, 1968) or 3 °C (COLBACH et al., 2002). COLBACH et al. (2002) even estimated a minimum temperature requirement of 0 °C for germination of *A. myosuroides*. The importance of herbicides with residual activity to cover the prolonged period of weed emergence becomes obvious in years with mild winters and a high level of seed dormancy.

The objectives of the present study were (i) to characterize the natural emergence of *A. myosuroides* in a field over two seasons and (ii) to evaluate soil activity of post-emergence herbicides under different conditions.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Emergence of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.)

The experiment was carried out at the research station Rauischholzhausen of the Justus-Liebig-University Gießen in Hessen, Germany. Using natural weed infestation, the emergence of *A. myosuroides* was observed over two seasons on an agricultural field where no ploughing has been conducted since over 20 years. For our investigations, the field was partially ploughed in 2010. In October 2009, two areas with a size of 5 m<sup>2</sup> were sprayed within the winter wheat field using the non-selective and non-residual herbicide Roundup UltraMax (Glyphosate 450 g/l). Within these plots, the natural emergence of *A. myosuroides* was regularly observed in eight marked plots with a size of 0.1 m<sup>2</sup>. The following year (2010), plots with a size of 1.5 m<sup>2</sup> were used for countings and already emerged individuals of *A. myosuroides* were clearly labelled with coloured plastic rings at each counting. Additionally, Roundup UltraMax was reapplied in these plots in early spring.

### 2.2 Pot experiments on the residual activity of post-emergent herbicides

In order to investigate the residual activity of different post-emergence herbicides, a pot experiment was carried out in May - June 2010 at the outdoor facilities of Bayer CropScience AG in Frankfurt (Germany) to simulate field conditions. Seeds of *A. myosuroides* (50-55 per pot) and *A. spica-venti* (80-90 per pot) were sown in plastic pots (diameter 10.5 cm, depth 8 cm) with sterilized silty clay loam (sand 10.6 %, silt 65.7 %, clay 23.6 %, pH 7.5, C-org 2.46 %) and a range of herbicide treatments were applied pre-emergent on a track sprayer fitted with a flat fan nozzle delivering 300 l/ha water. The post-emergence herbicides, based on recommended field rates, were: Mesosulfuron-methyl at 10, 5 and 2.5 g/ha (WG, 750 g a.i./kg); iodosulfuron-methyl at 5, 2.5 and 1.25 g/ha (WG, 100 g a.i./kg); pyroxsulam at 10, 5 and 2.5 g/ha (WP, 200 g a.i./kg); propoxycarbazone-sodium at 80, 40 and 20 g/ha (Attribut SG, 700 g a.i./kg); flupyr-sulfuron-methyl at 10, 5 and 2.5 g/ha (Lexus DF, 500 g a.i./kg); fenoxaprop-P-ethyl at 80, 40 and 20 g/ha (Ralon Super, 69 g a.i./l); clodinafop-propagyl at 80, 40 and 20 g/ha (Topik, 100 g a.i./l) and pinoxaden at 80, 40 and 20 g/ha (Axial EC, 50 g a.i./l). The individual herbicide treatments used in each experiment are shown in Tab. 3. After sowing and spraying, pots were placed outdoors and either irrigated lightly from above using a hose with a sprinkler or watered by natural rainfall to moisten the soil. Each experiment was comprised of four replicates per treatment. Herbicide activity was assessed 47 days after pre-emergence spraying by weighing the upper biomass of the weeds.

In addition, another pot-experiment was conducted with three different ACCase-inhibitors under glasshouse conditions in August and September 2011. The grass herbicides used were: Fenoxaprop-P-ethyl at 82.8 g/ha (Ralon Super, 69 g a.i./l); clodinafop-propagyl at 60 g/ha (Topik, 100 g a.i./l) and pinoxaden at 60 g/ha (Axial, 50 g a.i./l). These rates were equivalent to the maximum recommended field rates. After application, the plants were grown in a glasshouse with average 20 °C day and 12 °C

night temperature regimes. The herbicide activity was assessed 35 days after pre-emergence spraying by weighing the upper biomass of the weeds per pot. For all received data an ANOVA was conducted. Multiple comparisons were made using the Tukey-test at a  $\alpha = 0.05$  level of significance. Statistical analyses were conducted using SPSS 16.0 (SPSS, Chicago, IL, USA).

### 3. Results

#### 3.1 Natural emergence of black-grass (*A. myosuroides*) in the field

Emergence of *A. myosuroides* amounted to around 80 % of the total emergence during the four week period between sowing (22.09.09) and application of post-emergence herbicides including Roundup UltraMax (Tab. 1). Further, slight emergence of *A. myosuroides* individuals occurred in November and had its peak in December 2009, followed by continuous emergence of *A. myosuroides* individuals from March until the beginning of May.

**Tab. 1** Germination of *Alopecurus myosuroides* individuals per m<sup>2</sup> during the field season 2009/2010 in Rauschholzhausen after Roundup UltraMax (6 l/ha) application on 21.10.2009.

**Tab. 1** *Auflauf von Alopecurus myosuroides-Pflanzen pro m<sup>2</sup> während der Feldsaison 2009/2010 in Rauschholzhausen nach Applikation von Roundup UltraMax (6 l/ha) am 21.10.2009.*

Date	21.10.	27.11.	14.12.	24.03.	07.04.	05.05.	25.05.
Newly emerged - low tillage	990	25	140	58	50	50	0

Newly emerged: Individuals in BBCH 11-12

In the second year, the emergence of *A. myosuroides* followed a similar, though less extensive pattern (Tab. 2). Peak emergence occurred after sowing (22.09.10) followed by continuous emergence with a peak in November 2010, no emergence until March and another peak in April through to the beginning of May. In comparison, total emerged individuals of *A. myosuroides* were reduced by around 90 % by ploughing. Further there was close to 0 % emergence in late fall and no emergence observable in the spring of 2011.

**Tab. 2** Germination of *Alopecurus myosuroides* individuals per m<sup>2</sup> during the field season 2010/2011 in Rauschholzhausen after Roundup UltraMax (6 l/ha) application on 14.10.2010 and 25.01.2011.

**Tab. 2** *Auflauf von Alopecurus myosuroides-Pflanzen pro m<sup>2</sup> während der Feldsaison 2010/2011 in Rauschholzhausen nach Applikation mit Roundup UltraMax (6 l/ha) am 14.10.2010 and 25.01.2011.*

Date	14.10.	05.11	17.11.	25.01.	23.03.	20.04.	03.05.	30.05
Newly emerged - low tillage (n = 2)	347	28	37	X	0	23	3	0
Newly emerged - ploughing (n = 2)	37	1	6	X	0	0	0	0

Newly emerged: Individuals in BBCH 11-12

#### 3.2 Soil activity of post-emergence herbicides in pots

In this experiment, there were 16-20 *A. myosuroides* plants and 20-25 *A. spica-venti* plants in untreated pots. Treatment effects are shown in Table 3 as average fresh weights per pot after 47 days and in % relative to the untreated pots. All used post-emergence herbicides showed certain levels of pre-emergence weed control which were in almost all cases significant ( $p < 0.05$ ) to the untreated control. All ALS-inhibitors (mesosulfuron-methyl, iodosulfuron-methyl, pyroxsulam, propoxycarbazone and flupyrsulfuron-methyl) applied at the highest dose showed good to very good weed control, ranging from 69-95 % control for *A. myosuroides* and from 74-100 % control for *A. spica-venti*. Even at low doses, especially for propoxycarbazone, pyroxsulam and mesosulfuron-methyl, the soil activity was still on a decent to high level (64-92 %). The ACCase-inhibitors fenoxaprop-P-ethyl and clodinafop-propagyl at the highest dose showed a relatively high level of pre-emergence weed control, ranging

from 68-88 % control for *A. myosuroides* and from 64-83 % control for *A. spica-venti*. As expected, the pre-emergence efficacy was reduced at lower doses. In contrast, the ACCase-inhibitor pinoxaden showed a low level of soil activity in this experiment.

**Tab. 3** Biomass production (fresh weight per pot and relative data, untreated = 100) of *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* after different pre-emergence applications of post-emergence herbicides in an outdoor pot experiment 2010.

**Tab. 3** Biomassebildung (Frischgewicht pro Gefäß und Relativwerte, unbehandelt = 100) von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* nach Behandlung mit Nachauflaferbiziden im Voraufbau unter Freilandbedingungen in 2010.

Herbicide	Rate g ai/ha	<i>A. myosuroides</i>				<i>A. spica-venti</i>			
		Fresh weight g per pot	SE ±		Fresh weight %	Fresh weight g per pot	SE ±		Fresh weight %
Mesosulfuronmethyl	10	0.23	0.04	AB	8	0.00	0.00	A	0
	5	0.83	0.20	CDEF	28	0.71	0.17	ABCD	27
	2.5	1.16	0.10	FG	39	0.89	0.26	ABCD	34
Iodosulfuronmethyl	5	1.21	0.09	FG	41	0.00	0.00	A	0
	2.5	1.27	0.07	FGH	43	0.40	0.26	ABC	15
	1.25	1.46	0.14	GHI	50	1.23	0.12	CDEF	46
Pyroxsulam	10	0.20	0.04	A	7	0.00	0.00	A	0
	5	0.27	0.03	ABC	9	0.03	0.03	A	1
	2.5	0.44	0.05	ABCDE	15	0.21	0.08	AB	8
Propoxycarbazonenatrium	80	0.14	0.05	A	5	0.05	0.02	A	2
	40	0.17	0.05	A	6	0.26	0.09	AB	10
	20	0.35	0.03	ABCD	12	0.47	0.03	ABCD	18
Flupyr-sulfuronmethyl	10	0.80	0.06	BCDEF	27	0.69	0.10	ABCD	26
	5	1.39	0.12	FGH	47	1.31	0.21	DEF	49
	2.5	1.54	0.16	GHI	52	1.91	0.36	FGH	72
Fenoxaprop-P-ethyl	80	0.93	0.09	DEFG	32	0.45	0.16	ABCD	17
	40	1.24	0.27	FG	42	1.06	0.11	BCDE	40
	20	1.85	0.16	HIJ	63	1.99	0.20	FGH	75
Clodinafoppropagyl	80	0.36	0.02	ABCD	12	0.95	0.19	BCDE	36
	40	0.98	0.16	EFG	33	0.77	0.16	ABCD	29
	20	2.16	0.10	J	73	1.75	0.29	EFG	66
Pinoxaden	80	2.70	0.24	KL	92	2.48	0.28	GH	93
	40	2.30	0.10	JK	78	2.70	0.15	H	102
	20	2.02	0.05	IJ	69	2.36	0.24	GH	89
Untreated	-	2.95	0.17	L	100	2.65	0.19	H	100

SE = standard error; mean values within a given column followed with the same letter are not significantly different according to Tukey-test ( $\alpha = 0.05$ ).

The results for this experiment, which was conducted under greenhouse conditions, are shown in Table 4 as average fresh weights per pot after 35 days and in % relative to the untreated pots. As in the previous experiment, there were 16-20 *A. myosuroides* plants in untreated pots. The ACCase-inhibitors applied at their maximum recommended field dose showed very different soil efficacy

values. While clodinafop-propagyl and pinoxaden showed a highly significant ( $p < 0.05$ ) pre-emergence efficacy against *A. myosuroides* (88 % and 85 %), the fresh weights of plants treated with fenoxaprop-P-ethyl showed no significant difference to the untreated control ( $p > 0.05$ ).

**Tab. 4** Biomass production (fresh weight per pot and relative data, untreated = 100) of *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* after different pre-emergence applications of post-emergence herbicides in an outdoor pot experiment 2010.

**Tab. 4** Biomassebildung (Frischgewicht pro Gefäß und Relativwerte, unbehandelt = 100) von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* nach Behandlung mit Nachaufspritzherbiziden im Voraufbau unter Freilandbedingungen in 2010.

Herbicide	Rate g ai/ha	Fresh weight g per pot	SE ±		Fresh weight %
Fenoxaprop-P-ethyl	82.8	6	1.05	A	81
Clodinafop-propagyl	60	0.9	0.17	B	12
Pinoxaden	60	1.1	0.22	B	15
untreated	-	7.4	0.8	A	100

SE = standard error; mean values within a given column followed with the same letter are not significantly different according to Tukey-test ( $\alpha = 0.05$ ).

#### 4. Discussion

In general, soil activity of herbicides can only occur when the active ingredient is able to be taken up by either the roots or the hypocotyls of the weed. It is essential that there is a high availability of the herbicide in the root zone of the plants. On the one hand, this is highly dependent on characteristics of the chemical itself like its mobility, soil absorption, water solubility ( $\log K_{ow}$ ) and the degradation stability ( $dt_{50}$ ). On the other hand, a lot of environmental factors such as soil characteristics (organic matter content, biological activity, temperature, clay content and structure), precipitation and plant growth have an important impact on herbicide performance (DEVINE et al., 1993; ALDRICH and KREMER, 1997; FRYER and MAKEPEACE, 1977).

In our pot experiments, we showed that all tested post-emergence herbicides can have a certain soil activity against *A. myosuroides* and *A. spica-venti*. CORNES et al. (1989), RAFFEL et al. (2006) and FORTMEIER et al. (2006) mention that ACCase-inhibitors such as fenoxaprop-P-ethyl, clodinafop-propagyl as well as pinoxaden are entering the plant entirely or mainly through the foliage.

In contrast to the field, plants grown in the glasshouse usually find optimal growth conditions due to controlled temperature and water regimes. For instance, higher temperatures, when soil moisture is not limited, will result in more active plant growth and probably increased herbicide entry. This can be used as an explanation for the two different results for pinoxaden in our pot experiments. The first pot experiment was conducted under cold and wet conditions when almost no soil activity could be expected, while under relatively warm greenhouse conditions, the soil activity was high for pinoxaden. On the contrary, clodinafop-propagyl showed a high soil activity in both experiments. CORNES et al. (1989) also reported that the activity of clodinafop was not dependent on temperature although symptoms were slower to develop in cool temperatures. Our results for fenoxaprop-P-ethyl were inconsistent as well, which is probably the effect of the different growing conditions. In addition, soil moisture has been shown to be important for the activity of isoproturon on *A. myosuroides* in pot experiments in a greenhouse (BLAIR, 1985). HEWSON and READ (1985) concluded from their series of field trials carried out over 12 years on different farms that good control of larger plants by isoproturon generally coincided with moist soil conditions. On the other hand, excessive watering or rainfall after spray application could cause leaching below the rooting zone of small target plants which could lead to their survival (ALDRICH and KREMER, 1997). Furthermore, plants also show higher susceptibility to residual herbicides in pot experiments because the root growth is limited and the chemical is highly concentrated in the root zone in a pot. In addition, sown *A. myosuroides* in

pot experiments emerge simultaneously from the same depth, while continuous emerging can be observed in the field (MEINERS et al., 2011). KRÄHMER et al. (1994) reported that several factors like the crop and pest genome, the environmental conditions, physiochemical properties of the applied compounds and crop-pest interactions are causing variability in data generated from greenhouse and field trials. Their data with chlortoluron and isoproturon showed a high variability in glasshouse and field trials. The effect of weather conditions on the performance of isoproturon and clodinafoprogagyl to control *A. myosuroides* were investigated in field experiments by COLLINGS et al. (2003). They concluded that the weather conditions affected the herbicide performance more than the growth stage of the weed. This may explain variable results.

The long lasting emergence of *A. myosuroides* that we observed in our field trials is also reported by MENCK (1968) who proved that sown *A. myosuroides* can emerge during the whole year. However, the percentage of the emerged seeds is highly dependent on the seed dormancy. He suggested that a secondary dormancy, according to its natural endogenous germination rhythm, is induced by cool and wet conditions during the winter which will be reversed as soon as temperatures increase and the soil is drying in spring. The natural seed dormancy is different every year and is highly influenced by the weather conditions during maturation (FENNER, 1991; MOSS et al., 2006). It seems obvious that late flushes of weeds such as *A. myosuroides* occur especially in years with a high level of seed dormancy. We will demonstrate in a later publication that individuals of *A. myosuroides* which are still emerging in the spring after herbicide applications usually do not affect the yield as drastically as in the autumn because of crop competition. But these plants still produce seeds and might cause weed problems in future growing seasons.

The data shown (Tab. 1 and 2) also demonstrate that the emergence of *A. myosuroides* varies within the years and is difficult to predict. The optimal timing for herbicide applications is therefore not always easy. A warning system which can give predictions of emergences of weeds could help farmers to determine optimal herbicide strategies. Most post-emergence herbicides do have a soil activity under certain circumstances but soil activity in the field and its influencing factors remain to be investigated in future studies. In general, the soil activity of herbicides is variable and dependent on many factors which make it difficult to make recommendations at this point.

## References

- ALDRICH, R. J. AND R. J. KREMER, 1997: PRINCIPLES IN WEED MANAGEMENT. SECOND EDITION, IOWA STATE UNIVERSITY PRESS/AMES, 295-329.
- AMANN, A., 1991: EINFLUSS VON SAATTERMIN UND GRUNDBODENBEARBEITUNG AUF DIE VERUNKRAUTUNG IN VERSCHIEDENEN KULTUREN. DISSERTATION, UNIVERSITÄT HOHENHEIM.
- AMANN, A., P. ZWERGER AND K. HURLE, 1992: EINFLUSS VON SAATTERMIN UND GRUNDBODENBEARBEITUNG AUF DIE POPULATIONSDYNAMIK VON *ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS. IN VERSCHIEDENEN KULTUREN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XIII**, 269-276.
- BLAIR, A. M., 1985: INFLUENCE OF SOIL MOISTURE ON ISOPROTURON ACTIVITY AGAINST *ALOPECURUS MYOSUROIDES*. WEED RESEARCH **25**, 141-149.
- COLBACH, N., B. CHAUVEL, C. DÜRR AND G. RICHARD, 2002: EFFECT OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON *ALOPECURUS MYOSUROIDES* GERMINATION. I. EFFECT OF TEMPERATURE AND LIGHT. WEED RESEARCH **42**, 210-221.
- COLLINGS, L.V., A.M. BLAIR, A.P. GAY, C.J. DYER AND N. MACKAY, 2003: THE EFFECT OF WEATHER FACTORS ON THE PERFORMANCE OF HERBICIDES TO CONTROL *ALOPECURUS MYOSUROIDES* IN WINTER WHEAT. WEED RESEARCH **43**, 146-153.
- CORNES, D.W., T. SCOTT, E.J. HENDERSON AND P.J. RYAN, 1989: THE EFFICACY AND CROP SAFETY OF A HERBICIDE + SAFENER COMBINATIONS IN CEREALS UNDER UK CONDITIONS. PROCEEDINGS 1989 BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE – WEEDS, BRIGHTON, UK, 729-734.
- DEVINE, M., S.O. DUKE AND C. FEDKE, 1993: PHYSIOLOGY OF HERBICIDE ACTION. PTR PRENTICE HALL, 441 PP.
- FENNER, M., 1991: THE EFFECTS OF THE PARENT ENVIRONMENT ON SEED GERMINABILITY. SEED SCIENCE RESEARCH **1**, 75-84.
- FORTMEIER, R., B. BELTZ, B. GLASER AND M. KONRADT, 2006: RALON SUPER-HERBSTANWENDUNG GEGEN *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (ACKERFUCHSSCHWANZ) IN WINTERGERSTE. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 997-1003.
- FRYER, J.D. AND R. J. MAKEPEACE, 1977: WEED CONTROL HANDBOOK, VOLUME 1/ PRINCIPLES, INCLUDING PLANT GROWTH REGULATORS. SIXTH EDITION, BLACKWELL SCIENTIFIC PUBLICATIONS.



- HEWSON, R.T. AND M.A. READ, 1985: CONTROL OF *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK-GRASS) IN WINTER CEREALS WITH ISOPROTURON - A SUMMARY OF TRIALS CARRIED OUT OVER TWELVE YEARS IN THE UK. PROCEEDINGS 1985 BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE - WEEDS, BRIGHTON, UK, 901-908.
- KRÄHMER, H. AND P. E. RUSSEL, 1994: COMPARING GLASSHOUSE AND FIELD PESTICIDE PERFORMANCE II, BCPC MONOGRAPH NO 59, 2-16.
- MENCK, B. H., 1968: BIOLOGIE DES ACKERFUCHSSCHWANZES UND SEINE VERBREITUNG. DISSERTATION, UNIVERSITÄT KIEL.
- MEINERS, I., B. HONERMEIER AND H. KRÄHMER, 2011: WEED ABUNDANCE DOCUMENTATION IN WINTER WHEAT – THE EMERGENCE OF BLACKGRASS (*ALOPECURUS MYOSUROIDES* HUDS.) WITH AND WITHOUT WEED CONTROL MEASURES AND THE RESULTING VARIATION OF BIODIVERSITY PARAMETERS FOR ARABLE LAND. EWRS WEED MAPPING WORKSHOP, JOKIOINEN, FINNLAND.
- MOSS, S.R., A.J. SWAIN, Z.S. HUGHES AND S.K. COOK, 2006: QUANTIFYING THE DORMANCY OF *ALOPECURUS MYOSUROIDES* SEEDS PRODUCED BY PLANTS EXPOSED TO DIFFERENT SOIL AND MOISTURE AND TEMPERATURE REGIMES. WEED RESEARCH **46**, 470-479.
- PULCHER-HÄUBLING, M. AND K. HURLE, 1986: EINFLUSS DER N-DÜNGUNG AUF DIE KONKURRENZ ZWISCHEN UNKRÄUTERN UND WINTERWEIZEN. PROCEEDINGS EWRS SYMPOSIUM ON ECONOMIC WEED CONTROL, 137-144.
- RAFFEL, H., P. NIELSEN AND W. RÜEGG, 2006: AXIAL-EINFLUSS DES ANWENDUNGSZEITPUNKTES AUF DIE WIRKUNGSSICHERHEIT GEGEN SCHADGRÄSER IN GETREIDE. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 1039-1046.



## Effectiveness of flufenacet in controlling resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) – comparison of glasshouse and field trial results

Wirksamkeit von Flufenacet in der Bekämpfung von resistentem Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) – Vergleich von Ergebnissen aus Gewächshaus- und Feldversuchen

Hubert J. Menne<sup>1\*</sup>, Bernd Laber<sup>1</sup>, Dirk Kerlen<sup>2</sup> & Roland Beffa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bayer CropScience AG, Industriepark Höchst, H872, 65926 Frankfurt am Main, Germany

<sup>2</sup>Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Str. 4a, 40764 Langenfeld, Germany

\*Corresponding author, hubert.menne@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.049

### Summary

In the last years in practice, soil acting herbicides have become the backbone for the control of heavy infestations of grass weed populations. The known unsteady efficacy of HRAC group K1, K3 and N herbicides is controversially discussed and became linked with the development of herbicide resistance. In general, the testing of soil-acting compounds even under controlled glasshouse conditions as well as the confirmation of possible resistance is difficult and needs specific methods and a careful result interpretation. The reliability of test methods is therefore of extreme importance. The reference testing procedure such as plant density, irrigation and temperature conditions have been shown to influence the activity of the soil applied herbicides and to result in extreme differences in the efficacy levels in general, but also in differences between resistant and susceptible biotypes.

In our trials, the seed density could be ranked as the most sensitive factor. Of the tested products, Cadou SC was the most consistent herbicide followed by Boxer and Stomp Aqua. Possible reduced efficacy effects in glasshouse trials could not be verified by field trial results. The evaluation of field trials from Northern Germany did not show a significant decrease in sensitivity of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) to flufenacet or flufenacet plus diflufenican. It could be shown that seasonal variation in soil moisture, amount of rainfall, temperature conditions and application timing all influenced the efficacy level in the field the most.

**Keywords:** Enhanced metabolic resistance, herbicide resistance, pendimethalin, prosulfocarb, soil herbicides, test methodology

### Zusammenfassung

In den letzten Jahren ist die Anwendung von Bodenherbiziden zu einem zentralen Baustein für die Bekämpfung von hohen Ungrasdichten in der landwirtschaftlichen Praxis geworden. Die schwankende Wirkungssicherheit der Bodenherbizide der HRAC Gruppen K1, K3 und N unter praktischen Feldbedingungen wird teilweise konträr diskutiert und oft mit einer möglichen Resistenzentwicklung in Zusammenhang gebracht. Die allgemeine Untersuchung der Wirksamkeit von Bodenherbiziden unter kontrollierten Gewächshausbedingungen ist schwierig und bedarf einer wirkstoffspezifischen Methodenanpassung und einer entsprechenden überlegten Ergebnisauswertung. Die Vertrauenswürdigkeit der Testmethode ist deshalb von besonderer Bedeutung. Die Vielzahl der Methodenparameter, wie unter anderem Pflanzendichte, Bewässerung und Temperaturbedingungen, beeinflussen die Wirksamkeit der Bodenherbizide und können zu hohen Wirkungsunterschieden im Allgemeinen, aber auch zu Unterschieden zwischen verschiedenen Populationen führen.

In der Überprüfung der Methodenparameter stellte sich vor allem die Pflanzendichte als einflussreicher Faktor für die Wirkungstärke der Bodenherbizide heraus. In der Reihenfolge der getesteten Produkte war Cadou SC das wirkungsstärkste und konsistenteste Produkt, gefolgt von Boxer und Stomp Aqua. Wirkungsunterschiede in den Gewächshausuntersuchungen konnten im Allgemeinen mit den Feldeergebnissen nicht bestätigt werden. Eine Auswertung von Feldversuchen aus Resistenzgebieten in Norddeutschland zeigte in den letzten Jahren keine signifikante Abnahme der Wirksamkeit von Flufenacet oder Flufenacet plus Diflufenican in der Bekämpfungsleistung von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.). Jahreszeitliche Einflussfaktoren wie Bodenfeuchtigkeit, Niederschlagsereignisse, Temperaturbedingungen und das Wachstumsstadium der Ungräser zum Zeitpunkt der Applikation zeigten einen eindeutigen Einfluss auf die Wirksamkeit der Bodenherbizide.

**Stichwörter:** Bodenherbizide, Herbizidresistenz, Metabolische Resistenz, Pendimethalin, Prosulfocarb, Untersuchungsmethoden

## 1. Introduction

Herbicide resistances in grass weeds to post-emergent applied herbicides of different HRAC groups are wide spread in intensive cereal production systems in Germany and other European countries. The limited possibilities in controlling resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) with leaf-acting herbicides has resulted in a renaissance of soil applied herbicides which are being applied more and more in areas with high grass weed infestation. These herbicides provide alternative modes of action which can be important in slowing down the selection pressure of single products and sites of action. Some of these compounds already have been used for several decades but only to small extent. The extensive use of soil herbicides and their known occasional inconsistent efficacy under field conditions have not resulted in a high number of resistance reports. For *A. myosuroides*, only three reports for pendimethalin and flufenacet are recorded by HEAP (2011). Many more findings are known for group K1 (trifluralin) and N (trilalate) herbicides in rigid-ryegrass (*Lolium rigidum*) and wild-oat (*Avena fatua*). Two additional reports for Italian-ryegrass (*Lolium multiflorum*) and perennial-ryegrass (*Lolium perenne*) concern possible resistance to flufenacet. In general, ryegrass species are not target grass weeds on the label of flufenacet (FOE5043, 1997); and only good effects on Italian-ryegrass are recorded with high dose rates of 480-600 g ai/ha for use in sunflower (FLUFENACET, 2000). Effects on perennial grasses cannot be expected. The spread of herbicide resistance to ACCase, ALS and PS II inhibitors in grass weeds and the enlarged number of publications have sensitized farmers and consultants to the fact that reduced effectiveness of herbicides are linked more often with possible resistances. The resistance conformation testing should be proceeded following corresponding guidelines of HEAP (2005). The testing of soil acting compounds can be problematic and needs specific methods and a careful interpretation of results (MENNE and WAGNER, 2008).

The following results describe the influence of different trial parameters on the effectiveness of soil applied herbicides under controlled glasshouse conditions. The analysis of over a decade of field trial results of flufenacet-based products aimed to demonstrate whether a decrease occurs in sensitivity of *A. myosuroides* populations in resistance areas of Northern Germany.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Selection of seed samples and bioassay parameter

A selection of different *A. myosuroides* biotypes which were suspicious regarding a decreased sensitivity to different modes of action was identified in monitoring studies. Dose response studies with seeds of these biotypes were conducted under controlled glasshouse conditions. The procedure was as follows unless otherwise mentioned: The seed samples were cleaned, pre-germinated and sown in 8 cm pots (Fa. Jiffy) filled with a field soil (loamy silt with 18.9 % sand, 58.8 % silt, 22.3 % clay, 2.2 % organic matter, pH 7.4) with four repetitions each. The pots were placed in a glasshouse with 60 % humidity and 12 h light with minimum 2200  $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$  (sodium high pressure lamps if necessary). Sensitive reference biotypes were used for verification. The herbicides were applied at growth stage BBCH 05-10 with a standard laboratory track sprayer (teejet nozzle XR8002, pressure 2.4 bar, water amount 300 l/ha). All products [Boxer<sup>®</sup> (prosulfocarb), Cadou SC<sup>®</sup> (flufenacet), Stomp Aqua<sup>®</sup> (pendimethalin)] were sprayed with four to seven different dose rates for dose response analysis. The evaluation was done three weeks after application by visual assessment of the damages (%) in comparison to the untreated control. For method comparison, single different factors were modified:

1. Temperature conditions – with 15 °C day/10 °C night in comparison with 22 °C day/18 °C night.
2. Irrigation conditions – from above compared to from below.
3. Seed density – 100, 500, 1000 mg seeds/pot

ED<sub>50</sub> values were determined by fitting herbicide efficacies determined at different application rates to the sigmoidal dose-response model equation using Model 205 of the ID Business Solutions Ltd Xlfit version 5.1.0.0 software suite.

[Boxer<sup>®</sup> registered product of Syngenta Agro GmbH, Cadou SC<sup>®</sup> registered product of Bayer CropScience Germany GmbH, Stomp Aqua<sup>®</sup> registered product of BASF SE.]

## 2.2 Evaluation of field trials

The field trial database was analyzed regarding the efficacy of flufenacet, as well as flufenacet in mixture with diflufenican. Only field trial results ( $n = 44$  for flufenacet and  $n = 146$  for flufenacet plus diflufenican) from so called suspicious "resistance areas" in Northern Germany, Lower Saxony and Schleswig Holstein were used for further analyses. The compounds were applied at different growth stages (BBCH 00-27) in autumn. The mean, minimum, and maximum values of efficacy assessment data at the beginning of vegetation in spring were calculated for each year. The data were compared with rainfall data and average temperatures that were summarized for the month September and October in three locations from Northern Germany (Wismoor, Freiburg, Blankensee) for each year.

## 3. Results

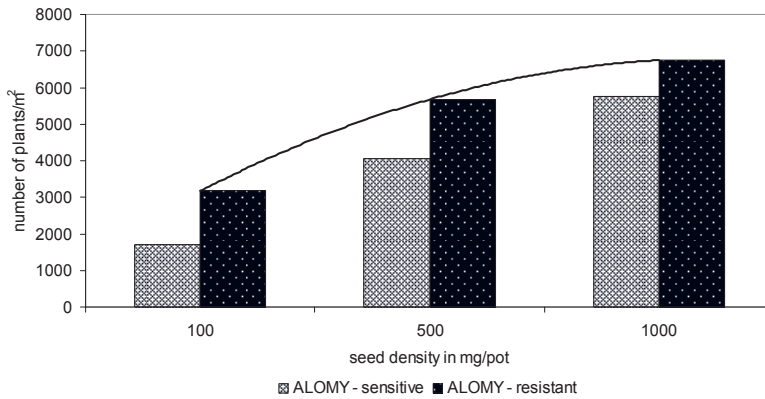
### 3.1 Bioassay parameter and dose response studies

The tested biotypes represent population mixtures of survivors from different farmers' fields from France, Germany (Lower Saxony, Marschen) and Great Britain. The biotypes were selected regarding their high enhanced metabolism to different products of HRAC group A, B and C2. Two populations also contained a certain level of ACCase target-site mutations Ile-1781-Leu and Gly-2096-Ala. The results of the dose response studies were compared to the mean ED<sub>50</sub> values of two different sensitive biotypes. The dose response results for Cadou SC, Stomp Aqua and Boxer and the different biotypes were pooled because of only slight differences between the individual resistant biotypes on the one hand and the sensitive biotypes on the other. The variation of the trial procedures significantly influenced the effectiveness of the tested products under controlled glasshouse conditions. Effectiveness data of additional studies with different growth stages of *A. myosuroides* and different soils types are not presented here. The more advanced the growth stages of *A. myosuroides* were at the time of application, the lower the effectiveness level of all products. Under these conditions, Stomp Aqua was more affected by later growth stages than Cadou SC and Boxer. The highest and most stable effectiveness could be realized at BBCH 00-10 of *A. myosuroides*. The performance of all products was more heterogeneous between repetitions on soils with higher sand content as well on soils with higher organic matter. The ED<sub>50</sub> values of Boxer increased with higher temperature by factor 2-3, whereas Stomp Aqua was more active under warm conditions in these studies (Tab. 1). The irrigation from above decreased the effectiveness of Stomp and Boxer. Both compounds were influenced more than Cadou SC and the ED<sub>50</sub> values increased by 40-60%. These calculations are based on the results with the lowest plant density of 100 mg seeds.

**Tab. 1** Influence of temperature and irrigation conditions on calculated ED<sub>50</sub> values of tested products for all biotypes tested with the lowest plant density (100 mg seeds/pot).

**Tab. 1** Einfluss der Temperatur und der Bewässerungsbedingungen auf die ED<sub>50</sub> der untersuchten Produkte für alle Biotypen bei der geringsten Pflanzendichte (100 mg Samen/Topf).

	temperature conditions			irrigation conditions		
	warm	cool	factor	from above	from below	factor
	ED <sub>50w</sub>	ED <sub>50c</sub>	ED <sub>50w</sub> /ED <sub>50c</sub>	ED <sub>50a</sub>	ED <sub>50b</sub>	ED <sub>50a</sub> /ED <sub>50b</sub>
Cadou SC	42	36	1.2	40	44	0.9
Stomp Aqua	1849	2677	0.7	2263	1599	1.4
Boxer	1765	1115	2.2	1765	1115	1.6



**Fig. 1** Influence of seed density on the germination of *A. myosuroides* and number of plants per unit of area.

**Abb. 1** Einfluss der Aussaatdichte auf die Keimung von *A. myosuroides* und die Anzahl der Pflanzen je Flächeneinheit.

The different seed densities caused different number of plants per pot. The germination rate of the sensitive biotypes was lower compared to the resistant biotypes. With the lowest seed density (100 mg seeds/pot), 8 plants/pot (1690 plants/m<sup>2</sup>) could be realized for the sensitive biotype compared to 16 plants/pot (3172 plants/m<sup>2</sup>) for the resistant biotypes (Fig. 1). The differences in plant densities between sensitive and resistant biotypes were smaller with higher seed densities. With 1000 mg/pot, 10 times more seeds than the lowest seed density, only 2.1 and 3.4 times in number of plants/pot of the lowest seed density could be realized. The competition reduced the germination rate and the densities were more balanced between the sensitive and resistant biotypes. The data additionally showed that the irrigation from above reduced the number of plants by 21 % within the lowest seed density. The temperature did not influence the plant density (only 3 % difference). However, even the lowest seed density already resulted in more plants than under practical field conditions. Five times more seeds per pot (which caused an increase in plants by factor 2.4 for the sensitive biotypes) resulted in 2.4 to 3.5 higher ED<sub>50</sub> values for the herbicides (Tab. 2). An additional number of plants, 3.4 times higher plant density, caused an additional decrease in the effectiveness of the herbicides (factor 3.7 to 7.0 higher ED<sub>50</sub> values). The compounds Stomp Aqua and Boxer were much more affected than Cadou SC in these studies.

**Tab. 2** Influence of seed density and number of plants of sensitive biotypes on the effectiveness of soil applied herbicides calculated on basis of ED<sub>50</sub> values and their factors (in comparison to lowest seed density; 100 mg seeds/pot).

**Tab. 2** Einfluss der Aussaatdichte und der Pflanzenanzahl der sensitiven Biotypen auf die Wirksamkeit von Bodenherbiziden auf Basis der Berechnung der ED<sub>50</sub> Werte und der Faktoren (im Vergleich zur geringsten Pflanzendichte; 100 mg Samen/Topf).

	seed density in mg per pot		
	100	500	1000
number of plants per m <sup>2</sup> (factor in comparison to lowest seed density)	1690	4069 (2.4)	5759 (3.4)
ED <sub>50</sub> values (factors in comparison to lowest seed density)			
Cadou SC	20	48 (2.4)	73 (3.7)
Stomp Aqua	325	772 (2.4)	1504 (4.6)
Boxer	193	679 (3.5)	1342 (7.0)

Finally, the influence of temperature, irrigation conditions and seed density resulted in inconsistent differences in the control of the resistant and sensitive biotypes. Under warm conditions, a dose response curve for Boxer on resistant biotypes and higher plant densities could not be achieved anymore so that a calculation of ED<sub>50</sub> values was impossible. The irrigation from above with warm temperature compared to the irrigation from below with cool temperature nearly doubled the resistance factors (RF) for all three products (Tab. 3).

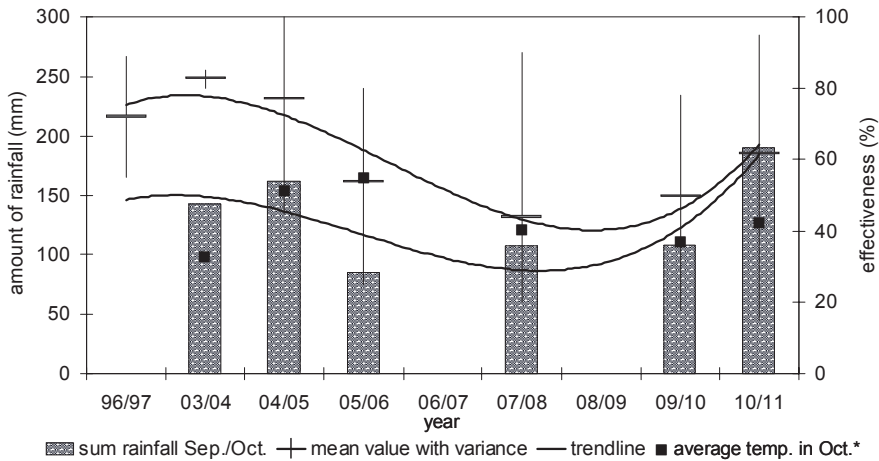
**Tab. 3** Influence of irrigation conditions on the effectiveness of soil-applied herbicides to resistant and sensitive *A. myosuroides* biotypes, calculated on basis of ED<sub>50</sub> values and their resistance factors (RF).

**Tab. 3** Einfluss der Bewässerungsbedingungen auf die Wirksamkeit von Bodenherbiziden auf resistente und sensitive *A. myosuroides*-Biotypen auf Basis der ED<sub>50</sub>-Werte und der Resistenzfaktoren (RF).

	cool temperature - irrigation from below			warm temperature - irrigation from above		
	ALOMY - sensitive	ALOMY - resistant	resistance factor (RF)	ALOMY - sensitive	ALOMY - resistant	resistance factor (RF)
	ED <sub>50s</sub>	ED <sub>50r</sub>	ED <sub>50r</sub> /ED <sub>50s</sub>	ED <sub>50s</sub>	ED <sub>50r</sub>	ED <sub>50r</sub> /ED <sub>50s</sub>
Cadou SC	26	50	1.9	20	78	3.9
Stomp Aqua	703	2762	3.9	466	3232	6.9
Boxer	136	1753	12.9	247	4572	18.5

### 3.2 Analysis of field trial data

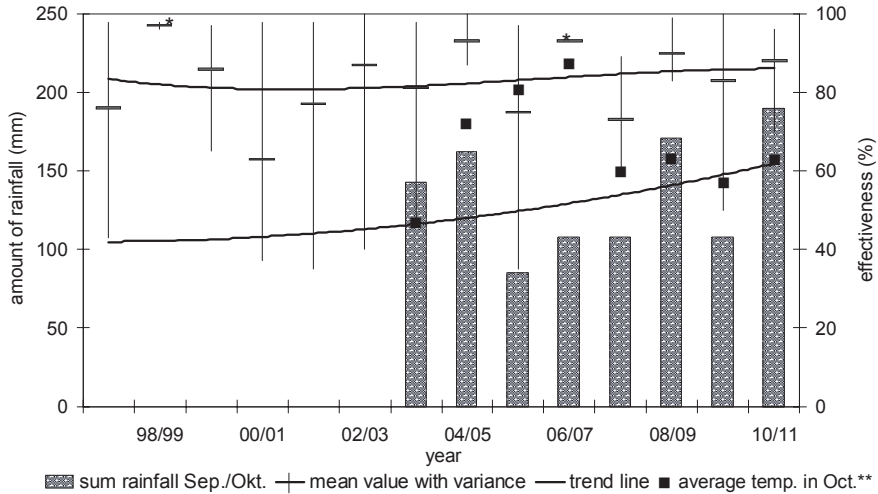
The analyses of the field trial database was narrowed down to the so called suspicious “resistance areas” in Northern Germany, Lower Saxony and Schleswig Holstein. All trials were taken into account where flufenacet and flufenacet plus diflufenican were applied in autumn at growth stages BBCH 00-27. The summary results in Figure 2 illustrate the high variance in the effectiveness of flufenacet within and among years. Only a limited number of results (n = 44) were available for flufenacet alone.



**Fig. 2** Effectiveness of flufenacet on *A. myosuroides* under field conditions dependent on rainfall and temperature.

**Abb. 2** Wirksamkeit von Flufenacet auf *A. myosuroides* in Abhängigkeit von Niederschlag und Temperatur unter Feldbedingungen.

(\* average temperature as trend, without scale in figure)



**Fig. 3** Effectiveness of flufenacet plus diflufenican on *A. myosuroides* under field conditions dependent on rainfall and temperature.

**Abb. 3** Wirksamkeit von Flufenacet plus Diflufenican auf *A. myosuroides* in Abhängigkeit von Niederschlag und Temperatur unter Feldbedingungen.

(\* only reduced number of data; \*\*average temperature as trend, without scale in figure).

It becomes obvious that the effectiveness of flufenacet was strongly correlated with the amount of rainfall before and after the application in September/October in each year. The trend lines for the effectiveness and the rainfall describe the same curve shape. The variation in each year also depended on the growth stage of *A. myosuroides* at the time of application. The temperature conditions were a further factor. At lower temperatures, the efficacy of flufenacet was higher than under warmer conditions. The influence interacts with the soil moisture conditions. A comparable trend could be observed for flufenacet plus diflufenican too (Fig. 3). The database of field trial results was much broader for flufenacet plus diflufenican ( $n = 146$ ) than for flufenacet alone. Only for the years 1999 and 2007, the number of data points was too low ( $n = 1-2$ ). In general, the variation of effectiveness of flufenacet plus diflufenican was much lower in comparison to flufenacet. The trend line was flatter and the variation in each year depended on the growth stage of *A. myosuroides* at the time of application and on the rainfall conditions. The data for the amount of rainfall were available from 2003 onwards only. Years with low effectiveness levels with  $\leq 80\%$  and high variation (e.g. 2006, 2008, 2010) were hallmarked by low rain fall levels  $\sim 100$  mm only. Much higher rainfall with  $> 150$  mm in the years 2005, 2009 and 2011 caused higher control levels of flufenacet plus diflufenican.

## 4. Discussion

### 4.1 Bioassay parameter and dose response studies

The evolution and spread of herbicide resistance has resulted in the development of different methodologies based on specific key questions, modes of action and/or specific compounds. Investigations of effectiveness of herbicides under controlled glasshouse conditions are conducted today by a range of institutions and quite often result in controversial discussions. Ring tests between different institutions, which were carried out in the past, resulted partly in controversial data, mainly caused by technical equipment, light and climate conditions (PETERSEN et al., 2010). Most of these effectiveness tests of herbicides are carried out post-emergent in advanced growth stages of plants. Effectiveness tests with soil-applied herbicides are much more critical and cannot be directly compared with tests of leaf-acting herbicides. In these tests, the methodological parameters and physical-chemical properties of compounds are essential for the validity of results.



In general, soil-acting compounds like flufenacet, pendimethalin and prosulfocarb have low water solubility and higher Koc values which influence their soil behavior decisively. Dry soil conditions and irrigation from below keep the compounds close to the soil surface. This effect is even stronger in soils with high clay and organic matter content. In contrast, the application on wet soils and irrigation from above result in leaching of compounds in deeper soil layers. Sandy soils and low organic matter contents encourage this process (MENNE and WAGNER, 2008). Soil acting herbicides require soil moisture and cooler conditions for their optimal effectiveness. Under warm conditions the plants grow quickly before the products have a chance to be effective.

The highest influence on the effectiveness of the compounds could be observed with the seed density of *A. myosuroides*. Higher seed densities cause a higher number of plants which have to share the compound amount with each other. The low amount of compound per plant, the plant competitive interaction, such as faster and deeper root growth and etiolating of plants, cause an insufficient effectiveness. This phenomenon could be observed for leaf-acting herbicides as well. The observation of lower germination rate of sensitive biotypes compared to resistant biotypes is not unusual. From experience, it is assumed that sensitive biotypes gradually lose their germination ability with time. The effect of plant density was most obvious for Boxer which caused an increased ED<sub>50</sub> level by a factor of 7. A high number of plants do not help in getting a meaningful dose response for any herbicide tested. The most meaningful trial results for all three products were achieved with the lowest seed density, under cool temperature conditions and irrigation from below. The resistant biotypes were so insufficiently controlled by Stomp Aqua and Boxer such that cross-resistance to these high metabolic resistance *A. myosuroides* biotypes could be confirmed with RF of 4 und 13. Cadou SC was still efficient under these conditions. However, higher differences for all compounds were observed under unfavorable trial conditions, such that a possible sensitivity shift on biotypes with high metabolic resistance cannot be excluded. MOSS and HULL (2009) and KLINGENHAGEN (2010) could demonstrate that flufenacet and its mixtures had the lowest variability and highest efficacy ranking of all soil-applied herbicides tested, followed by Boxer and Stomp. For tests of soil acting compounds the following factors should be considered among others:

1. Moderate soil types with clay contents < 30 %, sand contents < 40 %, 2-3 % of organic matter to avoid strong adsorption, but also to avoid leaching with high sand contents.
2. It is recommended to choose plant densities which do not exceed 1000 plants/m<sup>2</sup> inclusive known sensitive and resistant standard biotypes.
3. Irrigation from below to avoid leaching conditions, but activation of herbicides 24 hours after application with 5-10 mm of water from above.
4. Avoid application of herbicides on absolutely dry soils which result in fast and strong adsorption.
5. Cool conditions with maximum of 15-18 °C during day and 8-10 °C night.

Each factor should not be separately seen on its own. The interaction and balancing of all mentioned factors contribute to meaningful trial results.

#### **4.2 Field trial data**

The effectiveness of soil acting herbicides is strongly dependent on the soil and climate conditions at the time of application. The single products are not applied alone because of their limited activity on grasses and overall weed spectrum. The application of soil herbicides in corn in spring result in side effects to *A. myosuroides* only, when soil moisture is missing and under warmer temperatures (KLINGENHAGEN, 2011). All three products are rated by WOLBER (2010) with side effects to good effectiveness at their recommended dose rates in cereals in autumn. A very good efficacy rating is not expected based on their dependence on soil moisture conditions, temperature and plant growth stage. However soil-acting herbicides have become the backbone for the control of heavy infestations of *A. myosuroides* populations in practice. Flufenacet plus diflufenican and especially flufenacet alone showed a high variation in their effectiveness in field trials. However a sensitivity shift of *A. myosuroides* to flufenacet-based products in the northern regions of Germany, where resistance

to ACCase, ALS and PSII inhibitors is wide spread, could not be confirmed yet on field levels. The variation in first instance depended on soil moisture conditions, temperature and plant growth stage at the time of application. Other factors will have an additional influence like herbicide dose, persistence, spraying accuracy, seedbed conditions, weed emergence patterns, crop competition etc. (MOSS and HULL, 2009). The HRAC K1, K3 and N products and their mixtures are still quite effective and reduce the plant density of the first flush of germination of *A. myosuroides* plants.

## References

- FLUFENACET, 2000: TECHNICAL INFORMATION. BAYER CROPSCIENCE.  
FOE 5043, 1997: FOE 5043. PFLANZENSCHUTZ-NACHRICHTEN BAYER **50**.  
HEAP, I., 2005: CRITERIA FOR CONFIRMATION OF HERBICIDE-RESISTANT WEEDS - WITH SPECIFIC EMPHASIS ON CONFIRMING LOW LEVEL RESISTANCE. ONLINE: WWW.WEEDSCIENCE.ORG.  
HEAP, I., 2011: THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. ONLINE: WWW.WEEDSCIENCE.ORG, OCTOBER 2011.  
KLINGENHAGEN, G., 2010: SENSITIVITÄTSVERGLEICH VERSCHIEDENER ACKERFUCHSSCHWANZPOPULATIONEN (*ALOPECURUS MYOSUROIDES*) GEGENÜBER HERBIZIDEN UNTER FREILANDBEDINGUNGEN. 57. DEUTSCHE PFLANZENSCHUTZTAGUNG, JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 269.  
KLINGENHAGEN, G., 2011: MAIS: IHR MASTERPLAN GEGEN UNKRÄUTER. TOP AGRAR **4**, 56-65.  
MENNE H. J. AND J. WAGNER, 2008: WHAT IS THE BEST METHOD TO TEST FOR HERBICIDE RESISTANCE IN WEEDS? 56. GERMAN PLANT PROTECTION CONFERENCE, MITTEILUNGEN JULIUS KÜHN-INSTITUT **417**, 187.  
MOSS, S. R. AND R. HULL, 2009: THE VALUE OF PRE-EMERGENCE HERBICIDES FOR COMBATING HERBICIDE-RESISTANT *ALOPECURUS MYOSUROIDES* (BLACK-GRASS). ASPECTS OF APPLIED BIOLOGY **91**, 1-8.  
PETERSEN, J., K. GEHRING, B. GEROWITT, H. MENNE AND H. NORDMEYER, 2010: ERGEBNISSE EINES RINGTESTES ZUR FESTSTELLUNG DER HERBIZIDRESISTENZ BEIM ACKERFUCHSSCHWANZ. 57. DEUTSCHE PFLANZENSCHUTZTAGUNG, JULIUS-KÜHN-ARCHIV **428**, 275.  
WOLBER, D., 2010: HERBIZIDSTRATEGIEN UND -EMPFEHLUNGEN. GETREIDEMAGAZIN **4**, 200-213.

## Informationsgewinn aus Herbizidversuchen - Auswertung von Feldversuchen der Bezirksstelle Hannover aus den Jahren 2003 – 2009

*Gaining extra information from herbicide trials - analysing field trials of the region Hannover from 2003 to 2009*

Robert Fritzsche<sup>1\*</sup>, Eckhard Seemann<sup>2</sup>, Bernhard Werner<sup>2</sup>, Friederike de Mol<sup>1</sup> & Bärbel Gerowitt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Rostock, Fakultät Agrar- und Umweltwissenschaften, Phytomedizin, Satower Str. 48, D-18051 Rostock

<sup>2</sup>Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Hannover, Johannssenstraße 10, D-30159 Hannover

\*Korrespondierender Autor, robert.fritzsche@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.050

### Zusammenfassung

Pflanzenschutzdienste erheben im Rahmen des Zulassungsverfahrens und für die Beratung von Landwirten Daten von Pflanzenschutzmitteln in einer spezifischen Region. Die Bezirksstelle Hannover legt dazu Feldversuche an: In Abhängigkeit der Initiatoren als Gemeinschaftsprogramme, orientierende und amtliche Mittelprüfungen sowie bezirksstellenindividuelle Versuche. Ziel dieser Arbeit war es, herauszustellen, in wie weit eine übergreifende Sekundärauswertung zusätzlichen Erkenntnisgewinn liefern kann.

Die Ergebnisse, die von 2003 bis 2009 in 89 Versuchen an 40 Standorten in einem Umkreis von 50 km um Hannover erhoben worden waren, wurden in 1076 Datensätzen zusammengestellt. Die Versuchsregion lag in zwei Boden-Klima-Räumen.

Regionsspezifische Unterschiede im Anbau- und Herbizidmanagement konnten festgestellt werden. Etwa die Hälfte aller Standorte wurde zur Herbizidprüfung nur einmalig aufgesucht und ca. 70 % aller Prüfvarianten wurden nur einjährig geprüft, so dass mögliche Jahreseinflüsse der Herbizidwirkungen unentdeckt blieben.

Besonders viele Daten waren zu den Ungräsern *Alopecurus myosuroides* (ALOMY) und *Apera spica-venti* (APESV) vorhanden. In den Versuchen wies ALOMY in 74 % aller Fälle einen Starkbefall von mehr als 200 Ähren je m<sup>2</sup> auf. APESV produzierte nur in 5 % der Versuche mehr als 200 Rispen je m<sup>2</sup>. Bei gleicher Anzahl generativer Sprosse führte APESV zu stärkeren Ertragsdepressionen als ALOMY. Zudem wurde festgestellt, dass Standorte, auf denen ALOMY auftrat, ein höherer Ertrag erreichbar war, als auf APESV-Habitaten. Analysen der Vorhersagegenauigkeit unterschiedlicher Zeitpunkte der Befallsbonitur zeigten, dass der Ertrag am besten mit Deckungsgradbonituren im frühen Frühjahr korrelierte ( $R^2 = 0,54$ ), während bei der Herbstbonitur das Bestimmtheitsmaß nur bei 0,25 lag.

Die Schlussfolgerung ist, dass die Sekundärauswertung von Herbizid-Feldversuchen im Bereich von Befall-Ertrags-Relationen aktuelle Werte liefern kann. Einer zusammenfassenden Auswertung der Wirkungen einzelner Herbizide steht jedoch die geringe Wiederholung einzelner Prüfglieder über die Zeit im Weg.

**Stichwörter:** *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, Feldversuche, Herbizide, Niedersachsen, Ungräser, Unkrautbekämpfung

### Summary

Crop protection services gather data on pesticides in the context of product registration and for region-specific extension. For this purpose, the region Hannover conducts field trials, which depending on the initiators can be based on different designs. The purpose of this study was to see if it is possible to extract additional data from these data sets by joint analysis.

The 1076 data sets are based on 89 trials conducted in 40 locations in a radius of 50 km around the city of Hannover from 2003 to 2009. The region is situated in two ecoregional zones.

There were area-specific differences in crop- and herbicide management. About half of the locations were chosen as trial location for herbicides only once and about 70 % of all treatments were tested only in one year. Consequently, possible year-effects remained hidden.

Data with regard to the grass weeds, *Alopecurus myosuroides* (ALOMY) and *Apera spica-venti* (APESV), were particularly abundant. In 74 % of the trials, the density of ALOMY was > 200 ears per square meter. In contrast, in only 5 % of the trials was the density of APESV > 200 panicles per square meter. However, APESV will lead to higher yield losses than ALOMY at similar ear density. Furthermore, ALOMY predominantly occurred in locations

that had the potential to produce higher crop yields than locations with APESV. Analyses of the timing of the surveys showed that crop yield could be best predicted based on weed surveys in early spring ( $R^2 = 0.54$ ), whereas correlations with surveys conducted in autumn were weak ( $R^2 = 0.25$ ).

The results of this study show that the joint analysis of herbicide trials can yield valuable new insights. Joint analysis of herbicide efficiency over all trials could not be conducted due to lack of replication of trials with identical variants over time.

**Keywords:** *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, field trials, grass weeds, herbicides, Lower Saxony, weed control

## 1. Einleitung

Das kurzfristige Eintreten von Witterungsextremen sowie agrarpolitische und marktbedingte Änderungen erfordern eine stetige Anpassung der Entscheidungen des Landwirts (FERNANDEZ-QUINTANILIA et al., 2008). Dieses sowie die starken Veränderungen im Wirtschaftszweig Agrarwirtschaft begründen einen hohen Bedarf an Fachberatung. Der Herbizideinsatz hat in Deutschland einen hohen Anteil an den variablen Produktionskosten, was die Herbizidwahl besonders bedeutsam macht. Zudem erschwerend wirkt sich die begrenzte Wirkstoffpalette bei einer gleichzeitig steigenden Resistenzsituation aus. So wurden nach Angaben von HAHN (2011) in den letzten 30 Jahren keine neuen Wirkstoffgruppen mit innovativen Wirkprinzipien gefunden. Die Erwartungen für die nächsten zehn Jahre ergeben bisher auch keine neuen Entwicklungen.

Beratende Institutionen wie die Landwirtschaftskammer Niedersachsen betreiben deshalb einen hohen Aufwand, um durch Herbizid-Feldversuche mit jährlicher Auswertung eine Datengrundlage für die Beratung zu schaffen.

In diesem Beitrag wird untersucht, ob durch jahresübergreifende Auswertung solcher Herbizidversuche ein Informationsgewinn geschaffen werden kann. Die Fragestellungen betreffen dabei sowohl Wirkungsprofile der Herbizide wie auch das Schadpotenzial von Verunkrautungen: (i) Lässt sich ein Einfluss der Herbizidbehandlungen auf den Ertrag absichern? (ii) Wie stark beeinflussen *Alopecurus myosuroides*- (ALOMY) und *Apera spica-venti*- (APESV) Abundanzen den Ertrag? (iii) Wodurch wird der Deckungsgrad von ALOMY und APESV im Sommer (letzte Bonitur vor der Ernte) in Wintergetreide bestimmt?

## 2. Material und Methoden

Ausgewertet wurden die Herbizid-Feldversuche aus den Jahren 2003 bis 2009 der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Hannover, die entweder Teil der Gemeinschaftsprogramme und orientierende Mittelprüfungen waren oder nur von dieser Bezirksstelle angelegt wurden. Versuchsergebnisse der Amtlichen Mittelprüfung konnten aus Datenschutzgründen nicht in die Auswertung einbezogen werden.

Insgesamt wurden 89 Feldversuche auf 40 Versuchsstandorten ausgewertet. Die Standorte lagen in einem Umkreis von 50 km um Hannover und gehörten zu zwei Boden-Klima-Räumen (BKR) nach ROßBERG et al. (2007). Der BKR 145 südlich von Hannover wird vornehmlich durch Lehmböden charakterisiert, der BKR 146 nördlich von Hannover weist überwiegend sandige Standorte auf. Die Flächenauswahl erfolgte anhand einer bekannten Präsenz von Problemunkräutern in hohen Befallsdichten. Die Versuche waren einfaktoriell im Blockdesign mit vier Wiederholungen und in der Regel 14 Prüfgliedern angelegt. Die Parzellengröße betrug 20 m<sup>2</sup>.

Im ersten Schritt wurden Mittelwerte und Häufigkeiten in den Feldversuchen errechnet.

Im zweiten Schritt wurden die drei Fragestellungen versuchsübergreifend mit folgenden statistischen Verfahren ausgewertet:

- i) Parameterfreier Wilcoxon-Test für den Einfluss von Herbizidbehandlungen auf den Ertrag.
- ii) Generalisiertes Lineares Modell zum Einfluss der ALOMY- und APESV-Abundanzen auf den Ertrag.
- iii) Generalisiertes Lineares Modell für Bestimmungsgrößen für Deckungsgrade von ALOMY und

APESV im Sommer; als mögliche Parameter waren Hauptbodenart, Kulturart und Versuchsjahr aus den Versuchsdaten verfügbar.

Die Daten lagen in Excel-Arbeitsmappen vor. Seit 2006 wurden die Versuchsdaten der Bezirksstelle mit PIAF® verwaltet. Auch die seit 2006 angefallenen Daten wurden in Excel extrahiert. Für die statistische Auswertung wurde die Software R 2.9.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009) genutzt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Versuchsgestaltung

In den Jahren von 2003 bis 2009 wurden von der Bezirksstelle Hannover jährlich im Mittel 12,7 Versuche mit 154 Prüfgliedern angelegt. Die Tendenz war steigend von 9 Versuchen mit 123 Prüfgliedern im Jahr 2003 auf 15 Versuche mit 182 Prüfgliedern im Jahr 2009. 24 % der Prüfglieder gehörten zu Gemeinschaftsprogrammen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 28 % wurden durch die Pflanzenschutzmittel-Firmen initiiert und 48 % sind bezirksstellen-spezifische Prüfglieder. Es ist ein Rückgang der bezirksstellen-spezifischen Prüfglieder um 16 % zu verzeichnen, dem ein Anstieg der Prüfglieder der Pflanzenschutzmittel-Hersteller um ca. 600 % gegenübersteht.

Innerhalb eines Versuchsjahres wurden auf den Parzellen mehrmals Erhebungen durchgeführt, so dass von insgesamt 1076 Prüfgliedern 2379 Mittelwerte (Mittel aus je 4 Wiederholungen) aus behandelten Parzellen und 201 Mittelwerte zur Bewertung der Unkrautsituation in den unbehandelten Kontrollen dokumentiert sind. Im Laufe des Auswertungszeitraumes wurden in den Versuchsplänen zunehmend Einzelwerte anstatt bereits gemittelter Datenpunkte festgehalten, was umfangreiche Datenanalysen ermöglicht.

73 % der Versuchsstandorte hatten die Hauptbodenart Lehm, 16 % waren Sand- und 10 % Tonböden. Der pH-Wert wurde in 15 und die organische Bodensubstanz in 8 der 40 Standortbeschreibungen aufgenommen. 76 % der Versuche wurden auf Winterweizenflächen angelegt. 76 der 89 Versuche fokussierten auf ALOMY oder APESV als primäres Versuchsobjekt. Die Ackerkratzdistel war die wichtigste dikotyle Zielart, jedoch spielte die Regulierung dikotyler Unkräuter insgesamt eine untergeordnete Rolle.

Auf etwa der Hälfte aller Standorte wurde in den Jahren 2003 bis 2009 nur ein Herbizidversuch durchgeführt. Circa 70 % aller Prüfvarianten wurden nur in einem Anbaujahr geprüft. Zusammen führt dies dazu, dass Standort- und Jahreseinflüsse in der Datenserie größtenteils unberücksichtigt bleiben.

Insgesamt wurden 88 Herbizide von 13 Herstellern in die Versuche einbezogen. Die Herbizide beinhalteten 44 Wirkstoffe aus 15 chemischen Familien und aus 11 Wirkklassen nach HRAC-Einteilung. Einen Überblick über die 20 Herbizide, die am häufigsten eingesetzt wurden, liefert Tabelle 1.

**Tab. 1** Häufigkeit eingesetzter Pflanzenschutzmittel in 1076 Prüfparzellen, Zulassungsinhaber, Wirkstoffzusammensetzung und Anwendungstaktik.

**Tab. 1** Frequency of herbicides implemented in 1076 plots with their producer, chemical compounds and tactic of application.

Handelsname	Zulassungsinhaber	Wirkstoffzusammensetzung	Gesamt	davon Solo oder in Mischungen, d.h. keine Spritzfolgen
Atlantis WG®	Bayer CropScience	Iodosulfuron + Mesosulfuron + Mefenpyr	123	107
Herold SC®	Bayer CropScience	Diflufenican + Flufenacet	92	81
Lexus®	DuPont de Nemours Bayer	Flupyrsulfuron	86	80
Herold®	CropScience	Diflufenican + Flufenacet	79	73

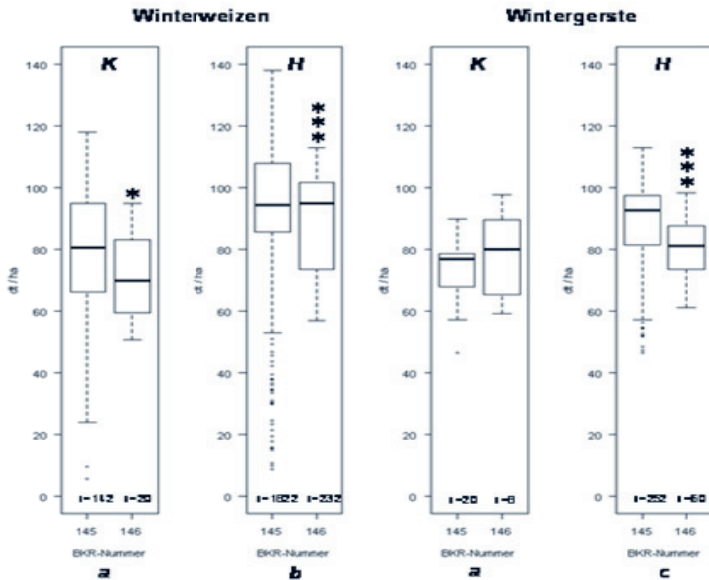
Handelsname	Zulassungsinhaber	Wirkstoffzusammensetzung	Gesamt	davon Solo oder in Mischungen, d.h. keine Spritzfolgen
Axial 50®	Syngenta Agro	<i>Pinoxaden + Cloquintocet-Mexyl</i>	76	68
Axial®	Syngenta Agro Bayer	<i>Pinoxaden + Cloquintocet-Mexyl</i>	72	63
Attribut®	CropScience Bayer	<i>Propoxyacarbazon</i>	65	44
Cadou®	CropScience	<i>Flufenacet</i>	62	59 <sup>1</sup>
Ralon Super®	Nufarm Deutschland	<i>Fenoxaprop-P + Mefenpyr</i>	59	44
Artus®	Nemours	<i>Carfentrazone + Metsulfuron</i>	57	54
Hoestar Super®	Bayer CropScience	<i>Amidosulfuron + Iodosulfuron + Mefenpyr</i>	53	41 <sup>2</sup>
IPU 500®	sonstige Bayer	<i>Isoproturon</i>	53	53
Bacara®	CropScience Dow	<i>Diflufenican + Flurtamone</i>	52	52
Starane XL®	AgroSciences Dow	<i>Fluroxypyr + Florasulam</i>	52	13
Primus®	AgroSciences Bayer	<i>Florasulam</i>	50	46
Fenikan®	CropScience Feinchemie	<i>Diflufenican + Isoproturon</i>	45	44
Fox®	Schwebda	<i>Bifenox</i>	39	36
Monitor®	Monsanto Bayer	<i>Sulfosulfuron</i>	39	36
Cadou SC®	CropScience	<i>Flufenacet</i>	38	34
Stomp SC®	BASF SE	<i>Pendimethalin</i>	38	37 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> inkl. Diadem Pack & Malibu Pack, <sup>2</sup> inkl. Accord Super Pack

### 3.2 Ungrasaufkommen und Folgen auf die Ertragsentwicklung

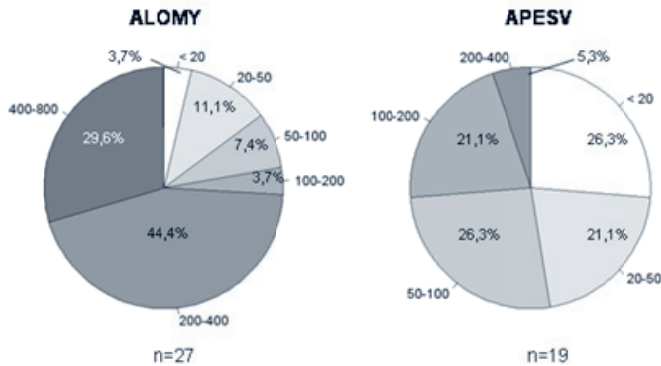
Sowohl die Erträge von Winterweizen (WW) als auch die der Wintergerste (WG) waren zwischen den untersuchten Boden-Klima-Räumen jeweils verschieden – hoch signifikant mit Herbizideinsatz in WW und WG, signifikant in den Kontrollen von WW, also bei einjährigem Verzicht auf Herbizide. Zudem sind zwischen den unbehandelten Kontrollen und den behandelten Prüfgliedern signifikante Ertragsunterschiede für WW sowie für WG und unabhängig von dem Boden-Klima-Raum festzustellen (Abb. 1).

In 85 % aller Versuche der Bezirksstelle Hannover traten ALOMY und APESV als primäres Versuchsobjekt auf. Neben Zählung von Unkrautpflanzen und Schätzungen der Deckungsgrade zu unterschiedlichen Zeitpunkten wird in der Regel auch eine abschließende Ähren- bzw. Rispenzählung vorgenommen. In Abbildung 2 ist die Verteilung der Versuche auf Befallsklassen dargestellt. Der mittlere Besatz je Versuchsstandort reichte bei ALOMY von 10 bis 1070 Ähren/m<sup>2</sup>, bei APESV von 2 bis 688 Rispen/m<sup>2</sup>. ALOMY-Standorte zeigten insgesamt höhere Ungrastriebdichten. Auf acht Standorten wuchsen beide Ungräser in Mischung – überwiegend auf lehmigen Substraten südlich von Hannover (BKR 145).



**Abb. 1** Erträge für Winterweizen und Wintergerste in unbehandelten Kontrollparzellen (K) und Herbizid-behandelten Parzellen (H) sowie in verschiedenen Boden-Klima-Räumen. Sign. Unterschiede zwischen den BKR \*\*\*( $\alpha = 0,001$ ), \*( $\alpha = 0,05$ ). Sign. Unterschiede zwischen Kontrolle und Herbizidbehandlungen: ungleiche Buchstaben ( $\alpha = 0,05$ ), WILCOXON.

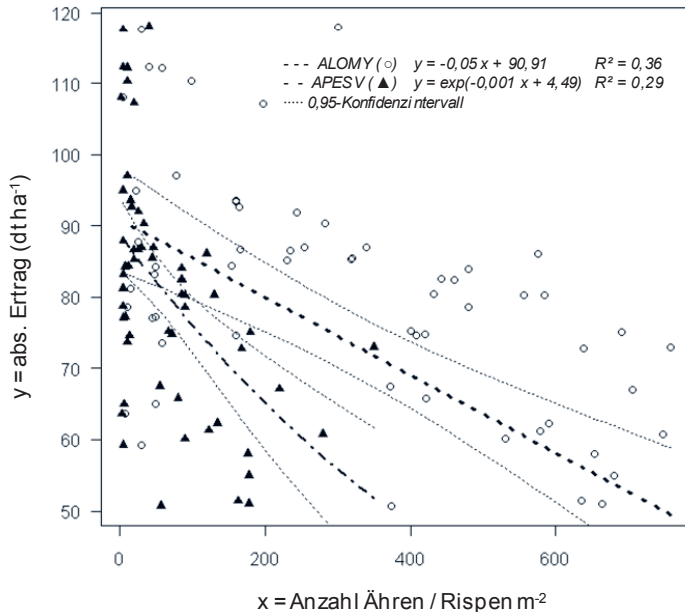
**Fig. 1** Yield of winter wheat and winter barley with (H) and without herbicides (K) in different soil-climate-regions. Sign. differences between soil-climate-regions \*\*\*( $\alpha = 0,001$ ), \*( $\alpha = 0,05$ ). Sign. differences between H and K: different letters ( $\alpha = 0,05$ ), WILCOXON.



**Abb. 2** Häufigkeiten (%) von Befallsstärken-Klassen (Ähren oder Rispen/m<sup>2</sup>).

**Fig. 2** Frequencies (%) of weed grass densities (ears or panicles/m<sup>2</sup>).

Nicht bekämpfte Ungräser, die zur Ähren- bzw. Rispenbildung kommen, können zu starken Ertragsdepressionen führen. Abbildung 3 verdeutlicht, dass die Standorte mit ALOMY ohne Ungrasbesatz mehr Ertrag erbringen als die mit APESV. Mit zunehmender Ungrasdicke sinkt der Ertrag. Dabei ist der Ertragsrückgang pro reproduktives Organ bei APESV deutlich größer als bei ALOMY. Die Beziehung ist für beide Ungräser signifikant.



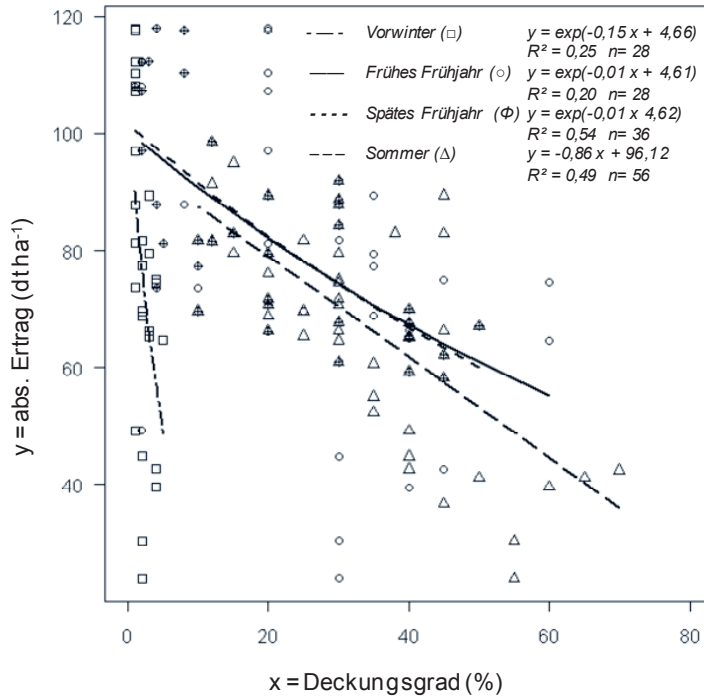
**Abb. 3** Einfluss der Abundanz (Ähren bzw. Rispen/m<sup>2</sup>) von ALOMY (n = 30) und APESV (n = 30) in unbehandelten Kontrollparzellen auf den Ertrag von Winterweizen.

**Fig. 3** Influence of the abundance (ears or panicles/m<sup>2</sup>) of ALOMY (n = 30) and APESV (n = 30) in untreated control plots on the yield of winter wheat.

Deckungsgradbonituren der Unkräuter fanden an mehreren Terminen innerhalb der Vegetation statt – zum Ende der Vegetation wurden für Ungräser zudem Zählungen der generativen Organe vorgenommen (Abb. 2). Die Deckungsgrade von ALOMY waren zu jedem Boniturtermin negativ mit dem Ertrag des Winterweizens korreliert (Abb. 4). Zum Ende der Vegetation im Spätherbst wurden Deckungsgrade von 1 - 6 % geschätzt. Die Beziehung zum Ertrag ist zu diesem Zeitpunkt besonders stark – so sinkt der Ertrag um 14 % wenn der Deckungsgrad von 1 % auf 2 % ansteigt ( $R^2 = 0,25$ ). Die Güte der Beziehung ist mit zum Boniturzeitpunkt „Spätes Frühjahr“ allerdings mit  $R^2 = 0,54$  deutlich höher – dieser Zeitpunkt ist somit wesentlich besser geeignet, um Ertragsverluste durch ALOMY zu prognostizieren.

Für die Versuche mit Wintergetreide wurde anhand von Daten der Deckungsgrad-Bonitur zum Aufnahmezeitpunkt Sommer (letzte visuelle Bonitur vor der Ernte) in den Kontrollparzellen untersucht, ob und welche Faktoren diese Variablen beeinflussen. Die Kulturpflanzenart ( $p = 0,0005$ ) und das Versuchsjahr ( $p = 0,000002$ ) hatten einen signifikanten Einfluss auf die Abundanz von APESV. Bei ALOMY hatten die Faktoren Kulturpflanze ( $p = 0,014$ ) und Hauptbodenart ( $p = 0,047$ ) einen signifikanten Effekt auf die Deckungsgrade, während Einflüsse der Versuchsjahre vernachlässigbar waren.





**Abb. 4** Beziehung zwischen dem Deckungsgrad von ALOMY zu verschiedenen Boniturzeitpunkten und dem Ertrag von Winterweizen in den Kontrollparzellen.

**Fig. 4** Relationship between relative cover of ALOMY at different assessment dates and the yield of winter wheat in untreated plots.

#### 4. Diskussion

Die Naturräume sind anhand der Boden-Klima-Räume nach ROßBERG et al. (2007) für die durch die Bezirksstelle Hannover durchgeführten Versuche sinnvoll. Grund dafür sind strukturelle Unterschiede im Anbau, der Bodenausstattung sowie verschiedene Stetigkeiten und Abundanzen der untersuchten Ungrasarten.

Der vorliegende Datensatz ist heterogen. Das liegt zum einen an der Vielzahl der Prüfglieder, die selten über mehrere Jahre wiederholt werden, und zum anderen an stets wechselnden Standort- und Witterungsbedingungen. Trotz mehr-ortiger und -jähriger Daten sind deswegen verallgemeinernde bzw. gebietsübergreifende Aussagen zu Wirksamkeiten einzelner Prüfvarianten schwierig. Dosis-Wirkungsbeziehungen, wie sie z.B. durch MATHIASSEN et al. (2007) nach Abstufung der Aufwandmenge und unter Laborbedingungen in Klimakammern für Dänemark bereitgestellt werden, können aus den Herbizid-Feldversuchen nicht abgeleitet werden.

Die jahresübergreifende Auswertung der Feldversuche ermöglicht Aussagen zum arttypischen Auftreten der Ungräser. So konnte die Präferenz von ALOMY für stark lehmige bis tonige Böden bestätigt werden – diese Böden finden sich vornehmlich im südlich von Hannover gelegenen Raum (BKR 145). Trotz bodenökologisch unterschiedlicher Ansprüche von ALOMY und APESV wiesen einige Standorten Mischverungrasungen mit beiden Arten auf. Somit existieren keine starren Trennungen bzgl. des bevorzugten Substrats – leichte Böden für APESV und feuchte, bindige für ALOMY (HANF, 1990), was für breitere ökologische Amplituden dieser Ungräser spricht. Insbesondere erwies sich APESV als weniger spezifiziert bzgl. der Ansprüche an eine Hauptbodenart, als dies für ALOMY der Fall war. Anhand der Daten bleibt eine erworbene Ausweitung dieser Amplitude allerdings Spekulation.

Die klassifizierten Abundanzen zeigten für APESV deutlich weniger Standorte mit Starkbefall als für ALOMY. Vergleichbare Ergebnisse sind von SCHRÖDER et al. (2006) aus Ringversuchen in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Hessen und Thüringen erhoben worden. Auch hier trat APESV nur in Einzelfällen als Starkbefall auf. Allerdings wurde gezeigt, dass der Ertragsrückgang, der mit einem samentragenden Spross einhergeht, bei APESV höher ist als bei ALOMY, so dass APESV wegen seiner geringeren Abundanz keineswegs als weniger schädlich eingestuft werden kann. Unsere Auswertungen bestätigten dieses. Anhand des Zusammenhanges zwischen Ähren-tragenden Halmen von ALOMY/m<sup>2</sup> und dem Winterweizenertrag sind Rückgänge um 0,50 dt/ha je 10 Ähren/m<sup>2</sup> nachgewiesen worden. Ähnliche Ertragsrückgänge zeigten Untersuchungen von KÖTTER (1991a) mit ca. 0,44 dt/ha. Stärkere Depressionen des Ertrages um 0,62 dt/ha je 10 Rispen/m<sup>2</sup> hingegen werden durch dieselbe Anzahl Rispen-tragender Halme von APESV ausgelöst (KÖTTER, 1991b) was auch aus unseren Analysen erkenntlich wurde (Abb. 3).

Verlässliche Befalls-Verlust-Relationen sind wesentliche Eckpunkte für eine gezielte Herbizidentscheidung. Sie können sich über die Jahre durch veränderte Anbaupraxis und züchterischen Fortschritt bei den Feldfrüchten ändern. Die vorliegende Auswertung liefert hier einige neue Zahlen, bestätigt aber sowohl die prinzipiellen Unterschiede zwischen den Arten wie auch die Problematik von sicheren Prognosen zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Anbaujahr. Eine Prognose der Ertragsdepression infolge einer Verungrasung mit ALOMY in Winterweizen führte sowohl zu unterschiedlichen Boniturzeitpunkten als auch zwischen den Messgröße (Deckungsgrad oder Anzahl Ähre/m<sup>2</sup>) zu unterschiedlichen Güteklassen der Prognose. Die Zählung der Ähren/m<sup>2</sup> für ALOMY erwies sich als ungenauer bezüglich der Folgeabschätzung auf den Ertrag als eine Deckungsgradschätzung zum Zeitpunkt „Spätes Frühjahr“. Mögliche Ursachen dafür sind in der unterschiedlichen Befallsklassenzusammensetzung zu suchen, da für ALOMY, bezogen auf Ähren-tragende Halme, deutlich differenziertere Gruppen festzustellen waren, als die Entwicklung der Deckungsgrade.

## Literatur

- FERNANDEZ-QUINTANILLA, F., M. QUADRANTI, P. KUDSK UND P. BARBERI, 2008: WHICH FUTURE FOR WEED SCIENCE? WEED RESEARCH **48**, 297-301.
- HAHN, C., 2011: ANTI-RESISTENZ-KAMPAGNE - NICHT VERHINDERN ABER AUFHALTEN. NEUE LANDWIRTSCHAFT **03/11**, 48-49.
- HANF, M., 1990: FARBATLAS FELDFLORA. ULMER STUTTGART.
- KÖTTER, U., 1991A: ZUR BIOLOGIE DES ACKERFUCHSSCHWANZES UND DESSEN KONKURRENZBEZIEHUNGEN ZU WINTERWEIZEN. GESUNDE PFLANZEN **6**, 179-184.
- KÖTTER, U., 1991B: ENTWICKLUNG UND KONKURRENZVERHALTEN VON WINDHALM IN WINTERWEIZEN UND WINTERROGGEN. GESUNDE PFLANZEN **6**, 185-189.
- MATHIASSEN, S., H. RAVN UND P. KUDSK, 2007: IS DOSE-SPLITTING OF GRAMINICIDES AS EFFECTIVE AS A SINGLE APPLICATION? WEED RESEARCH **47**, 252-261.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009: R-PROJEKT. ABGERUFEN AM 27. APRIL 2011 VON [HTTP://WWW.R-PROJECT.ORG/](http://www.r-project.org/).
- ROBBERG, D., V. MICHEL, R. GRAF UND R. NEUKAMPF, 2007: DEFINITION VON BODEN-KLIMA-RÄUMEN FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. NACHRICHTENBL. DEUT. PFLANZENSCHUTZD. **59**, 155-161.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, J. PAPANFUß, R. BALGHEIM UND I. PITTORF, 2006: REDUZIERUNG DES HERBIZIDEINSATZES IN WINTERGETREIDE DURCH DIE AUSRICHTUNG DER WIRKSTOFFKOMBINATIONEN UND DER AUFWANDMENGEN DER HERBIZIDE AUF DIE TYPISCH VORKOMMENDEN LEITVERUNKRAUTUNGEN - ERGEBNISSE VON MEHRJÄHRIGEN RINGVERSUCHEN DER LÄNDER BRANDENBURG, SACHSEN, SACHSEN-ANHALT, HESSEN UND THÜRINGEN. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION SPECIAL ISSUE **XX**, 683-690.

## 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](mailto: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](mailto: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™*

syngenta®



Dow AgroSciences



**JKI**

Julius Kühn-Institut

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

ISBN 978-3-930037-84-1



9 783930 037841